

江添亮の 詳説C++17

■江添亮 著



ASCII
DWANGO

本文中記載の会社名、商品名、一般開発登録商標。
、本文中のTM・[©]・[®]表示は明記。

はじめに

本書は 2017 年の規格制定から約 3 年経った言語 C++ の国際規格、ISO/IEC 14882:2017 の新機能を解説する。

新しい C++17 の不具合修正、新機能の追加が行われ、日々進化を続ける。その結果、C++ の特徴である静的型付けの堅固性、近年の動的型付け言語に匹敵する柔軟な記述が可能になった。

人々の学習、新機能の学習は労多益少を考慮し、C++ の新機能が現実の問題を解決し、便利に道具として追加される、仮に機能が使えない問題も、便利に道具として問題に対処できるように。そして、C++ の機能が一般的に自然に感じられる設計になっている、利用が簡単である。そして C++ の難しさを感じることも、そして C++ の解決する現実の問題の難しさ。そして、我々の理想は程遠く歪んでいる。そして CPU の性能上昇が停滞し、そして CPU の比率的遅延、そして定数時間の遅延。そして収束局所性を持つ操作は無料同然で、そして単位あたりの MB の数が増える。そして超低電力 CPU が一般的になり、並列処理、非同期処理が全くなされることを考慮する必要がある。

そして時代は進み、そして最良の手法は価値を失い、そして逆悪の手法が下になる。そして昔の現実の手法は今でも方法になっている。そして、現在活発に使われる生きた言語、常時時代合致の機能が廃止、必要な機能が追加が必要になる。C++ の発展は留められ、今後 C++ を使った制限、修正機能が追加される。

本書の執筆は Github 上で公開されている。

<https://github.com/EzoeRyou/cpp17book>

本書は GPLv3 です。

本書の執筆者は株式会社エゾエリヤ GitHub 上で Pull Request を送ることで多
くの貢献者に協力いただき、誤りを正し、より良い記述を実現しました。この場を
借りて謝意を表します。

本書の誤りを見つけたら、Pull Request を送る先は

<https://github.com/EzoeRyou/cpp17book>

です。

江添亮

序

0.1 C++ の規格

プログラミング言語 C++ は ISO 傘下国際規格 ISO/IEC 14882 によって制定されている。この規格は数年ごとに改定されている。一般に C++ の規格は参照規格、規格制定は西暦の下二桁を取って、C++98 (1998 年発行) から C++11 (2011 年発行) と呼ぶ。現在発行されている C++ の規格は以下である。

0.1.1 C++98

C++98 は 1998 年に制定された最初 C++ の規格である。本来は 1994 年と 1995 年に制定する予定だったが、1998 年になった。

0.1.2 C++03

C++03 は C++98 の文面を曖昧な点を修正した修正規格である。2003 年に制定された。新機能を追加したわけではない。

0.1.3 C++11

C++11 は制定途中の段階で元 C++0x と呼ぶ。200x 年頃に規格制定する予定だったが、予定が大幅に遅れ、2011 年頃に規格制定された。C++11 は多くの新機能を追加した。

0.1.4 C++14

C++14 は 2014 年に制定された。C++11 の文面を誤り修正や他、少く新機能を追加した。本書は解説する。

目次

はじめに	iii
序	v
0.1 C++ 規格	v
0.1.1 C++98	v
0.1.2 C++03	v
0.1.3 C++11	v
0.1.4 C++14	v
0.1.5 C++17	vi
0.2 C++ 将来規格	vi
0.2.1 C++20	vi
0.3 言語	vi
第1章 SD-6 C++ のための機能テスト推奨	1
1.1 機能	1
1.2 <code>__has_include</code> 式: 存在判定	3
1.3 <code>__has_cpp_attribute</code> 式	4
第2章 C++14 のコア言語の新機能	5
2.1 二進数	5
2.2 数値区切り文字	5
2.3 <code>[[deprecated]]</code> 属性	6
2.4 通常関数戻り値型推定	8
2.5 <code>decltype(auto)</code> : 厳格 <code>auto</code>	9
2.6	14
2.7 初期化	15
2.8 変数	18
2.8.1 意味同型違い定数	21

3.20.4	初期化子型配列、std::tuple_size<E> 完全形 名前場合	71
3.20.5	上記以外場合	73
3.21	inline 変数	75
3.21.1	inline 歴史的意味	75
3.21.2	現代 inline 意味	76
3.21.3	inline 変数意味	78
3.22	可変長 using 宣言	79
3.23	std::byte : 表現型	81
第 4 章	C++17 の型安全な値を格納するライブラリ	85
4.1	variant : 型安全 union	85
4.1.1	使方	85
4.1.2	型非安全古典的 union	86
4.1.3	variant 宣言	88
4.1.4	variant 初期化 初期化 初期化 variant 値渡場合 in_place_type emplace 構築	88 88 89 89 90
4.1.5	variant 破棄	91
4.1.6	variant 代入	92
4.1.7	variant emplace	92
4.1.8	variant 値入確認 valueless_by_exception 関数 index 関数	93 93 94
4.1.9	swap	94
4.1.10	variant_size<T> : variant 保持型数取得	95
4.1.11	variant_alternative<I, T> : 型型型返	96
4.1.12	holds_alternative : variant 指定型値保持確認	96
4.1.13	get<I>(v) : 型型型値取得	97
4.1.14	get<T>(v) : 型型値取得	99
4.1.15	get_if : 値保持型場合取得	100
4.1.16	variant 比較 同一性比較	101 101

	大小比較	102
4.1.17	visit : variant 保持値受取	103
4.2	any : 型値保持	104
4.2.1	使用方	104
4.2.2	any 構築破棄	105
4.2.3	in_place_type 構築	105
4.2.4	any 代入	106
4.2.5	any 関数	106
	emplace	106
	reset : 破棄	106
	swap : 交換	107
	has_value : 値保持確認調	107
	type : 保持型 type_info 得	108
4.2.6	any 関数	108
	make_any<T> : T 型 any 作	108
	any_cast : 保持値取出	109
4.3	optional : 値保有、構築破棄	110
4.3.1	使用方	110
4.3.2	optional 実引数	112
4.3.3	optional 構築	112
4.3.4	optional 代入	113
4.3.5	optional 破棄	113
4.3.6	swap	114
4.3.7	has_value : 値保持確認	114
4.3.8	operator bool : 値保持確認	115
4.3.9	value : 保持値取得	115
4.3.10	value_or : 値保持値返	116
4.3.11	reset : 保持値破棄	117
4.3.12	optional 同土比較	117
	同一性比較	117
	大小比較	118
4.3.13	optional std::nullopt 比較	119
4.3.14	optional<T> T 比較	119
4.3.15	make_optional<T> : optional<T> 返	119
4.3.16	make_optional<T, Args ...> : optional<T> 構築返	120

第 5 章	string_view : 文字列ラッパー	121
5.1	使用方	121
5.2	basic_string_view	123
5.3	文字列の有、非所有	123
5.4	string_view の構築	125
5.4.1	明示的構築	126
5.4.2	null 終端文字型配列	126
5.4.3	文字型文字数	126
5.4.4	文字列変換関数	127
5.5	string_view の操作	128
5.5.1	remove_prefix/remove_suffix : 先頭、末尾要素削除	129
5.6	string_view の定義	130
第 6 章	メモリリソース : 動的ストレージ確保ライブラリ	133
6.1	メモリリソース	133
6.1.1	メモリリソースの使用方	134
6.1.2	メモリリソースの作り方	135
6.2	polymorphic_allocator : 動的メモリリソースの実現	137
6.2.1	メモリリソースの明示的構築	138
6.3	メモリリソース全体の使用	139
6.3.1	new_delete_resource()	139
6.3.2	null_memory_resource()	139
6.3.3	メモリリソースの明示的構築	140
6.4	標準メモリリソース	140
6.5	メモリリソースの明示的構築	142
6.5.1	メモリリソースの明示的構築	142
6.5.2	synchronized/unsynchronized_pool_resource	145
6.5.3	pool_options	146
6.5.4	メモリリソースの明示的構築	146
6.5.5	メモリリソースの明示的構築関数	147
	release()	147
	upstream_resource()	147
	options()	147
6.6	メモリリソースの明示的構築	147
6.6.1	メモリリソースの明示的構築	149

6.6.2	mutex操作	150
6.6.3	mutex他操作	151
	release()	151
	upstream_resource()	152
第 7 章	並列アルゴリズム	153
7.1	並列実行mutex	153
7.2	使い方	155
7.3	並列mutex詳細	156
7.3.1	並列mutex	156
7.3.2	mutex提供関数mutex制約	157
	実引数与mutex直接、間接変更mutex	
	mutex	157
	実引数与mutex一意性依存mutex	
	mutex	158
	mutex競合同期	159
7.3.3	例外	160
7.3.4	実行mutex	161
	is_execution_policy traits	161
	mutex実行mutex	161
	mutex実行mutex	162
	mutex非mutex実行mutex	162
	実行mutex	162
第 8 章	数学の特殊関数群	165
8.1	Laguerre多項式 (Laguerre polynomials)	166
8.2	Associated Laguerre多項式 (Associated Laguerre polynomials)	166
8.3	Legendre多項式 (Legendre polynomials)	166
8.4	Associated Legendre関数 (Associated Legendre functions)	167
8.5	Spherical associated Legendre関数 (Spherical associated Legendre functions)	167
8.6	Hermite多項式 (Hermite polynomials)	168
8.7	Beta関数 (Beta function)	168
8.8	第 1 種完全楕円積分 (Complete elliptic integral of the first kind)	169
8.9	第 2 種完全楕円積分 (Complete elliptic integral of the second kind)	169
8.10	第 3 種完全楕円積分 (Complete elliptic integral of the third kind)	169
8.11	第 1 種不完全楕円積分 (Incomplete elliptic integral of the first kind)	170

8.12	第 2 種不完全楕円積分 (Incomplete elliptic integral of the second kind)	170
8.13	第 3 種不完全楕円積分 (Incomplete elliptic integral of the third kind)	171
8.14	第 1 種 Bessel 関数 (Cylindrical Bessel functions of the first kind)	171
8.15	Bessel 関数 (Cylindrical Neumann functions)	171
8.16	第 1 種変形 Bessel 関数 (Regular modified cylindrical Bessel functions)	172
8.17	第 2 種変形 Bessel 関数 (Irregular modified cylindrical Bessel functions)	172
8.18	第 1 種球 Bessel 関数 (Spherical Bessel functions of the first kind)	173
8.19	球 Bessel 関数 (Spherical Neumann functions)	173
8.20	指数積分 (Exponential integral)	174
8.21	Riemann zeta 関数 (Riemann zeta function)	174
第 9 章	その他の標準ライブラリ	175
9.1	乱数生成関数 (Random number generators)	175
9.2	std::uncaught_exceptions	176
9.3	apply : tuple 要素実引数関数呼出	178
9.4	Searcher : 検索	179
9.4.1	default_searcher	179
9.4.2	boyer_moore_searcher	180
9.4.3	boyer_moore_horspool_searcher	182
9.5	sample : 乱択	183
9.5.1	乱択	183
9.5.2	選択標本、要素数集合 標本選択	186
9.5.3	保管標本、要素数集合 標本選択	187
9.5.4	C++ sample	189
9.6	shared_ptr<T[]> : 配列対 shared_ptr	192
9.7	as_const : const 性付与	193
9.8	make_from_tuple : tuple 要素実引数関数呼出	194
9.9	invoke : 指定関数指定実引数呼出	195
9.10	not_fn : 戻値否定	196

9.11	管理 traits	196
9.11.1	addressof	196
9.11.2	uninitialized_default_construct	197
9.11.3	uninitialized_value_construct	198
9.11.4	uninitialized_copy	198
9.11.5	uninitialized_move	199
9.11.6	uninitialized_fill	199
9.11.7	destroy	199
9.12	shared_ptr::weak_type	200
9.13	void_t	201
9.14	bool_constant	201
9.15	type_traits	201
9.15.1	変数 traits 版 traits	201
9.15.2	論理演算 traits	202
	conjunction : 論理積	202
	disjunction : 論理和	203
	negation : 否定	203
9.15.3	is_invocable : 呼出可能確認 traits	204
9.15.4	has_unique_object_representations : 同値内部表現同一確認 traits	205
9.15.5	is_nothrow_swappable : 無例外 swap 可能確認 traits	206
9.16	不完全型 traits	206
9.17	emplace 戻値	206
9.18	map unordered_map 変更	207
9.18.1	try_emplace	207
9.18.2	insert_or_assign	208
9.19	連想配列 splice 操作	209
9.19.1	merge	210
9.19.2	traits	211
9.19.3	extract : traits 取得	213
9.19.4	insert : traits 要素追加	215
9.19.5	traits 利用例	218
	traits 再確保、traits 一部要素別 traits 移	218
	traits 寿命超要素存続 traits	218
	map traits 変更	219

9.20	<code>std::clamp</code> 関数	219
9.21	<code>clamp</code>	220
9.22	3 次元 <code>hypot</code>	221
9.23	<code>atomic<T>::is_lock_free</code>	221
9.24	<code>scoped_lock</code> : 可変長引数 <code>lock_guard</code>	221
9.25	<code>std::byte</code>	222
9.26	最大公約数 (gcd) / 最小公倍数 (lcm)	222
9.26.1	gcd : 最大公約数	222
9.26.2	lcm : 最小公倍数	223
第 10 章	ファイルシステム	225
10.1	名前空間	225
10.2	POSIX 準拠	226
10.3	<code>std::filesystem::path</code> 全体像	226
10.4	<code>std::filesystem::path</code> 処理	227
10.4.1	例外	227
10.4.2	非例外	228
10.5	<code>path</code> : <code>std::filesystem::path</code> 文字列	229
10.5.1	<code>path</code> : <code>std::filesystem::path</code> 文字列	230
10.5.2	<code>std::filesystem::path</code> 操作	234
10.6	<code>file_status</code>	236
10.7	<code>directory_entry</code>	238
10.8	<code>directory_iterator</code>	240
10.8.1	<code>std::filesystem::directory_iterator</code> 処理	241
10.9	<code>recursive_directory_iterator</code>	242
10.9.1	<code>std::filesystem::recursive_directory_iterator</code>	242
10.9.2	<code>depth</code> : 深さ取得	244
10.9.3	<code>pop</code> : 現在 <code>std::filesystem::recursive_directory_iterator</code> 列挙中止	244
10.9.4	<code>recursion_pending</code> : 現在 <code>std::filesystem::recursive_directory_iterator</code> 再帰	245
10.10	<code>std::filesystem::path</code> 操作関数	248
10.10.1	<code>std::filesystem::path</code> 取得	248
	<code>current_path</code>	248
	<code>temp_directory_path</code>	248
10.10.2	<code>std::filesystem::path</code> 操作	248
	<code>absolute</code>	248

目次

canonical	248
weakly_canonical	248
relative	249
proximate	249
10.10.3 作成	249
create_directory	249
create_directories	249
create_directory_symlink	250
create_symlink	250
create_hard_link	251
10.10.4 操作	251
copy_file	251
copy	251
copy_symlink	252
10.10.5 削除	253
remove	253
remove_all	253
10.10.6 変更	254
permissions	254
rename	255
resize_file	256
10.10.7 情報取得	256
操作権限判定	256
status	259
status_known	259
symlink_status	259
equivalent	259
exists	259
file_size	259
hard_link_count	260
last_write_time	260
read_symlink	262
space	262

索引

266

第1章

SD-6 C++ のための 機能テスト推奨

C++17 機能は C 機能に追加。

1.1 機能テストマクロ

機能、C++ 実装 (C++ 特定機能) 特定機能は、
時判断機能。本来、C++17 規格準
拠 C++ 実装、C++17 機能は。、残
念に現実 C++ 開発行。C++17
対応途中 C++ 将来的機能実装目標
、現時点一部機能実装状態。

、C++11 追加 `rvalue` 機能現実 C++
対応時判定以下。

```
#ifndef __USE_RVALUE_REFERENCES
    #if (__GNUC__ > 4 || __GNUC__ == 4 && __GNUC_MINOR__ >= 3) || \
        _MSC_VER >= 1600
        #if __EDG_VERSION__ > 0
            #define __USE_RVALUE_REFERENCES (__EDG_VERSION__ >= 410)
        #else
            #define __USE_RVALUE_REFERENCES 1
        #endif
    #elif __clang__
        #define __USE_RVALUE_REFERENCES __has_feature(cxx_rvalue_references)
    #else
        #define __USE_RVALUE_REFERENCES 0
    #endif
#endif
```

10

10

第 1 章 SD-6 C++ 機能推奨

```

// 例
if ( __has_include(<vector>) )
{ }
}

```

1.3 __has_cpp_attribute 式

C++ 実装で特定属性がサポートされているかどうかを調べる、`__has_cpp_attribute` 式を使う。

```
__has_cpp_attribute( 属性 )
```

`__has_cpp_attribute` 式、属性が存在する場合属性の標準規格採択年月を表す数値、存在しない場合 0 を置換する。

```

// [[nodiscard]] 属性の場合
#if __has_cpp_attribute(nodiscard)
[[nodiscard]]
#endif
void * allocate_memory( std::size_t size );

```

`__has_include` 式と同様、`__has_cpp_attribute` 式は `#if` や `#elif` 中で使われる。`#ifdef` は `__has_cpp_attribute` 式が存在するかどうか判定する。

第2章

C++14のコア言語の新機能

C++14 は追加の新機能が少く、C++14 は C++03 と同様に、位置付の積極的な新機能追加を見送る。

2.1 二進数リテラル

二進数整数の二進数記述機能。整数 0B、0b、二進数、整数表現文字 0、1 の使用。

```
int main()
{
    int x1 = 0b0 ; // 0
    int x2 = 0b1 ; // 1
    int x3 = 0b10 ; // 2
    int x4 = 0b11001100 ; // 204
}
```

二進数浮動小数点数の使用機能。機能名 `__cpp_binary_literals`、値 201304。

2.2 数値区切り文字

数値区切り文字、整数浮動小数点数数値文字区切り機能。区切り桁何桁。

```
int main()
{
    int x1 = 123'456'789 ;
}
```

第 2 章 C++14 言語新機能

```

int x2 = 1'2'3'4'5'6'7'8'9 ;
int x3 = 1'2345'6789 ;
int x4 = 1'23'456'789 ;

double x5 = 3.14159'26535'89793 ;
}

```

大数値扱、整数 100000000 1000000000 書場合、大数人間目。人間読間違元。数値区切使用、100'000'000 1'000'000'000 書。。

他、1 単位見区切。

```

int main()
{
    unsigned int x1 = 0xde'ad'be'ef ;
    unsigned int x2 = 0b11011110'10101101'10111110'11101111 ;
}

```

数値区切、人間読機能、数値影響与。

2.3 `[[deprecated]]` 属性

`[[deprecated]]` 属性名前、使用利用推奨状態示使用。`[[deprecated]]` 属性指定名前、`typedef` 名、変数、非 `static` 関数、名前空間、`enum`, `enumerator`, 特殊化。

以下指定。

```

// 変数
// 
[[deprecated]] int variable_name1 { } ;
int variable_name2 [[deprecated]] { } ;

// typedef 名
[[deprecated]] typedef int typedef_name1 ;
typedef int typedef_name2 [[deprecated]] ;
using typedef_name3 [[deprecated]] = int ;

```

2.3 `[[deprecated]]` 属性

```

// 関数
// 関数同文法
// 関数
[[deprecated]] void function_name1() { }
void function_name2 [[deprecated]] () { }

// 関数
// union 同
class [[deprecated]] class_name
{
// 非 static 関数
[[deprecated]] int non_static_data_member_name ;
} ;

// enum
enum class [[deprecated]] enum_name
{
// enumerator
enumerator_name [[deprecated]] = 42
} ;

// 名前空間
namespace [[deprecated]] namespace_name { int x ; }

// 関数特殊化

template < typename T >
class template_name { } ;

template < >
class [[deprecated]] template_name<void> { } ;

```

`[[deprecated]]` 属性は指定名前空間を使用、C++ の警告を出し。

`[[deprecated]]` 属性、文字列を付加。C++ 実装警告は含み。

```

[[deprecated("Use of f() is deprecated. Use f(int option) instead.")]]
void f() ;

```

第2章 C++14 言語新機能

```
void f( int option ) ;
```

機能 `__has_cpp_attribute(deprecated)`, 値 201309。

2.4 通常の関数の戻り値の型推定

関数の戻り値の型 `auto` で指定、戻り値の型 `return` 文で推定。

```
// int ()
auto a(){ return 0 ; }
// double ()
auto b(){ return 0.0 ; }
```

```
// T(T)
template < typename T >
auto c(T t){ return t ; }
```

return 文の型一致。

```
auto f()
{
    return 0 ; // OK、一致
    return 0.0 ; // OK、一致
}
```

型の決定 `return` 文が存在する場合、関数の戻り値の型参照型として書。

```
auto a()
{
    &a ; // OK、a の戻り値の型決定
    return 0 ;
}

auto b()
{
    return 0 ;
    &b ; // OK、戻り値の型 int
}
```


2.5 decltype(auto) : 厳格な auto

関数 a の戻り型は、関数 a の型で決定される。return 文の前で型が決定される関数 a の戻り型。関数 b の return 文の現れ後に戻り値の型で決定される。

再帰関数を書く。

```
auto sum( unsigned int i )
{
    if ( i == 0 )
        return i ; // 戻り値の型は unsigned int
    else
        return sum(i-1)+i ; // OK
}
```

戻り型、return 文の順番は逆で戻り値の型で決定されることに注意。

```
auto sum( unsigned int i )
{
    if ( i != 0 )
        return sum(i-1)+i ; // OK
    else
        return i ;
}
```

機能は `__cpp_return_type_deduction`, 値 201304。

2.5 decltype(auto) : 厳格な auto

警告：この項目は C++ 規格の詳細な知識を解説する極く難解な項目。平均的な C++ の知識を得るための書籍は読まない。この項目は読む必要はない。

`decltype(auto)` は `auto` 指定子で代わり使われる厳格な `auto`。利用する C++ の規格を厳格に理解を求む。

`auto` は `decltype(auto)` の型指定子と呼ぶ文法上一種、戻り値の型で決定される。

戻り値の型、具体的な型式で決定される機能。

```
// a は int
auto a = 0 ;
// b は int
```

第 2 章 C++14 言語の新機能

```
auto b() { return 0 ; }
```

変数宣言の型を使用する場合、型の決定式の初期化子呼称部分の書式を使用。関数戻値型推定の型を使用する場合、return 文の式を使用。

`decltype(auto)` は `auto` の代わり使用される。 `decltype(auto)` の型は式の型決定される。

```
// a は int
decltype(auto) a = 0 ;
// b は int
decltype(auto) b() { return 0 ; }
```

一見 `auto` と `decltype(auto)` が同じに見える。しかし、2 つの式は型の決定の方法が異なる。 `C++` の規格は極端に難規則に基づいて決定される。習得は熟練の魔法使に似て要求される。

`auto` の式の型決定は、`auto` の関数名、式実引数の渡す実引数推定が行われる場合推定の型を使用する。

```
auto x
```

```
auto x = 0 ;
```

場合、

```
template < typename T >
void f( T u ) ;
```

関数に対して、

```
f(0) ;
```

実引数の渡す `u` の型の推定は型と同型。

```
int i ;
auto const * x = &i ;
```

場合、

```
template < typename T >
void f( T const * u ) ;
```

関数

2.5 `decltype(auto)` : 厳格 `auto`

```
f(&i) ;
```

実引数 `&i` の型を推定して型を同型にする。この場合 `int const *` になる。

`auto` の説明。 `decltype(auto)` の説明は簡単。

`decltype(auto)` の型、 `auto` の式を置換して `decltype` の型になる。

```
// int
decltype(auto) a = 0 ;
```

```
// int
decltype(auto) f() { return 0 ; }
```

上の場合、下の場合同意味。

```
decltype(0) a = 0 ;
decltype(0) f() { return 0 ; }
```

簡単に、`decltype`、`auto`以降の黒魔術はC++ の規格の知識が必要になる。

`auto` の `decltype(auto)` は一見同じに見える。型を決定する方法は、`auto` の関数の実引数推定を使う、`decltype(auto)` の `decltype` を使う。式の評価の結果の型になる。何が違うのか。

主に関数、`auto` の関数呼出しを使う。関数呼出しの際に暗黙の型変換が行われる。

配列の関数渡り、暗黙の型変換の結果、配列の先頭要素になる。

```
template < typename T >
void f( T u ) {}
```

```
int main()
{
    int array[5] ;
    // T int *
    f( array ) ;
}
```

`auto` の `decltype(auto)` は使われる。

```
int array[5] ;
// int *
```

第 2 章 C++14 言語新機能

```

auto x1 = array ;
// 配列、配列初期化
decltype(auto) x2 = array ;

```

、以下同意味。

```

int array[5] ;
// int *
int * x1 = array ;
// 配列、配列初期化
int x2[5] = array ;

```

auto 場合、型 `int *`。配列先頭要素暗黙変換、結果正。

`decltype(auto)` 場合、型 `int [5]`。配列初期化、代入、。

関数型暗黙型変換関数型。

```

void f() ;

// 型 void(*)()
auto x1 = f ;
// 関数型変数
decltype(auto) x2 = f ;

```

auto 修飾子消、`decltype(auto)` 保持。

```

int & f()
{
    static int x ;
    return x ;
}

int main()
{
    // int
    auto x1 = f() ;
    // int &
    decltype(auto) x2 = f() ;
}

```

初期化 `auto` `std::initializer_list`、`decltype(auto)` 式。

第2章 C++14 言語新機能

本章では、C++14 追加機能のうち、C++ の型システムを深く理解する必要のあるものを紹介する。

機能のうち、`__cpp_decltype_auto`、値 201304。

2.6 ジェネリックラムダ

本章では、ラムダ式で引数の型を書き出す機能を紹介する。通常、ラムダ式は以下のように書く。

```
int main()
{
    []( int i, double d, std::string s ) { } ;
}
```

ラムダ式で引数の型が必要。この場合、`int`、`double`、`std::string` の型を `operator ()` の渡す型として指定する必要がある。この場合、`std::string` の型を人間指定する必要はない。この場合、`std::string` の型を `auto` で指定する必要がある。

```
int main()
{
    []( auto i, auto d, auto s ) { } ;
}
```

この場合、ラムダ式の結果として返す型は、呼び出す側で指定する必要がある。

```
int main()
{
    auto f = []( auto x ) { std::cout << x << '\n' ; } ;

    f( 123 ) ; // int
    f( 12.3 ) ; // double
    f( "hello" ) ; // char const *
}
```

仕組みは簡単で、以下のように `operator ()` を持つ構造体を生成する。

```
struct closure_object
{
```

2.7 初期化ラムダキャプチャー

```

template < typename T >
auto operator () ( T x )
{
    std::cout << x << '\n' ;
}
} ;

```

機能 `__cpp_generic_lambdas`, 値 201304。

2.7 初期化ラムダキャプチャー

初期化ラムダキャプチャーは変数名前式で書かれた機能。

ラムダ式書場所で見られる変数ラムダキャプチャー。

```

int main()
{
    int x = 0 ;
    auto f = [=]{ return x ; } ;
    f() ;
}

```

初期化ラムダキャプチャーは初期化子で書かれた機能。

```

int main()
{
    int x = 0 ;
    [ x = x, y = x, &ref = x, x2 = x * 2 ]
    { // ラムダ式変数使用
        x ;
        y ;
        ref ;
        x2 ;
    } ;
}

```

初期化ラムダキャプチャー、“識別子 = expr”は文法導入子 `[]` 中書く。ラムダ式 “auto 識別子 = expr ;” で書かれた変数作。ラムダ式変数名前変、ラムダ新変数宣言。

第 2 章 C++14 言語新機能

初期化識別子名前 & 付、`constexpr` 変数宣言の導入。

```
int main()
{
    int x = 0 ;
    [ &ref = x ]()
    {
        ref = 1 ;
    }() ;

    // x 1
}
```

初期化追加理由変数名前変数の導入の目的、非 `static` 変数の導入の目的。

以下問題、。

```
struct X
{
    int data = 42 ;

    auto get_closure_object()
    {
        return [=]{ return data ; } ;
    }
};

int main()
{
    std::function< int() > f ;

    {
        X x ;
        f = x.get_closure_object() ;
    }

    std::cout << f() << std::endl ;
}
```


2.7 初期化

`X::get_closure_object` は `X::data` を返す。返す。

```
auto get_closure_object()
{
    return [=]{ return data ; } ;
}
```

見、`get_closure_object` は `[=]` を使、`data` は内関数式非 `static` 関数式。関数式 `this` 上関数式下関数式同意味。

```
auto get_closure_object()
{
    return [this]{ return this->data ; } ;
}
```

、`main` 関数一度見。

```
int main()
{
    // 関数式代入関数式変数
    std::function< int() > f ;

    {
        X x ; // x 構築
        f = x.get_closure_object() ;
        // x 破棄
    }

    // x 破棄
    // return &x->data 破棄 x 参照
    std::cout << f() << std::endl ;
}
```

、`break` 参照。未定義動作。

初期化、非 `static` 関数式。

```
auto get_closure_object()
{
```


機能 `__cpp_init_captures`, 値 201304。

10

2.8 変数テンプレート

```

{
public :
    T member ;
} ;

int main()
{
    X<int> i ;
    i.member = 42 ; // int

    X<double> d ;
    d.member = 1.0 ; // double
}

```

C++ 関数テンプレート宣言。

```

int f( int x )
{ return x ; }

```

C++ 関数テンプレート宣言。型テンプレート型使用。

```

template < typename T >
T f( T x )
{ return x ; }

int main()
{
    auto i = f( 42 ) ; // int
    auto d = f( 1.0 ) ; // double
}

```

C++11 typedef 名宣言テンプレート宣言。

```

using type = int ;

```

C++11 テンプレート宣言テンプレート宣言。型テンプレート型使用。

```

template < typename T >
using type = T ;

int main()

```

第 2 章 C++14 言語新機能

```

{
    type<int> i = 42 ; // int
    type<double> d = 1.0 ; // double
}

```

このコードは、C++ の一部で宣言された変数の型を明示的に宣言する。踏まえて以下を考慮する。
C++ の変数の宣言。

```
int variable{} ;
```

C++14 の変数の宣言は、型の変数の宣言。型の変数の宣言は、型の変数の宣言。

```

template < typename T >
T variable { } ;

int main()
{
    variable<int> = 42 ;
    variable<double> = 1.0 ;
}

```

変数の名前空間変数の宣言は、変数の宣言機能。変数の宣言は、名前空間変数の宣言、名前空間変数の宣言。変数の宣言は、名前空間変数の宣言。

```
// 名前空間変数の宣言は、名前空間変数の宣言
```

```

namespace ns {
// 名前空間変数の宣言
}

```

```

class
{
// 変数の宣言
} ;

```

変数の宣言は、変数の宣言。変数の宣言は、変数の宣言。

2.8.1 意味は同じだが型が違う定数

`constexpr`変数化`constexpr`良作法`constexpr`。`constexpr`円周率`3.14...` `constexpr`書`constexpr` `pi` `constexpr`変数名`constexpr``constexpr`。`constexpr`、円周率`constexpr`後`constexpr``constexpr`変更`constexpr`。

```
constexpr double pi = 3.1415926535 ;
```

`constexpr`、円周率`constexpr`型`constexpr`複数`constexpr`場合`constexpr`。`constexpr`名前`constexpr`方法。

```
constexpr float pi_f = 3.1415 ;
constexpr double pi_d = 3.1415926535 ;
constexpr int pi_i = 3 ;
// 任意精度実数表現constexpr
const Real pi_r("3.141592653589793238462643383279") ;
```

`constexpr`、使`constexpr`側`constexpr`型`constexpr`名前`constexpr`変`constexpr`。

```
// 円面積計算関数
template < typename T >
T calc_area( T r )
{
    // T 型constexpr使constexpr名前constexpr変
    return r * r * ??? ;
}
```

関数`constexpr`使`constexpr`手。

```
template < typename T >
constexpr T pi()
{
    return static_cast<T>(3.1415926535) ;
}

template < >
Real pi()
{
    return Real("3.141592653589793238462643383279") ;
}
```

第2章 C++14 言語新機能

```
template < typename T >
T calc_area( T r )
{
    return r * r * pi<T>() ;
}
```

、場合引数何関数呼出 () 必要。
変数以下書。

```
template < typename T >
constexpr T pi = static_cast<T>(3.1415926535) ;

template < >
Real pi<Real>("3.141592653589793238462643383279") ;

template < typename T >
T calc_area( T r )
{
    return r * r * pi<T> ;
}
```

2.8.2 traits のラッパー

値返 traits 値得 ::value 書。

```
std::is_pointer<int>::value ;
std::is_same< int, int >::value ;
```

C++14 中 std::integral_constant 中 constexpr operator bool 追加。
、以下書。

```
std::is_pointer<int>{} ;
std::is_same< int, int >{} ;
```

面倒。変数 traits 記述楽。

```
template < typename T >
constexpr bool is_pointer_v = std::is_pointer<T>::value ;
template < typename T, typename U >
constexpr bool is_same_v = std::is_same<T, U>::value ;

is_pointer_v<int> ;
```

```
is_same_v< int, int > ;
```

C++ 標準規格に従って traits 変数 `is_same_v` 版に注意。

機能 `__cpp_variable_templates`, 値 201304。

2.9 constexpr 関数の制限緩和

C++11 は追加 `constexpr` 関数の制限を強めた。 `constexpr` 関数の本体は実質 `return` 文 1 行に書ける。

C++14 は、何を書けるようになった。

```
constexpr int f( int x )
{
    // 変数の宣言
    int sum = 0 ;

    // 繰返文を書く
    for ( int i = 1 ; i < x ; ++i )
    {
        // 変数の変更
        sum += i ;
    }

    return sum ;
}
```

機能 `__cpp_constexpr`, 値 201304。

C++11 は `constexpr` 関数に対応した C++14 は `constexpr` 関数に対応した C++ 実装、 `__cpp_constexpr` の値 200704 。

2.10 メンバー初期化子とアグリゲート初期化の組み合わせ

C++14 は初期化子と初期化の組み合わせ。

初期化子と非 `static` の初期化 = C++11 機能。

```
struct S
```

第2章 C++14 言語新機能

```
{
    // 初期化子
    int data = 123 ;
};
```

初期化条件を満たす型初期化初期化
C++11 機能。

```
struct S
{
    int x, y, z ;
};

S s = { 1,2,3 } ;
// s.x == 1, s.y == 2, s.z == 3
```

C++11 初期化子を持つ型条件を満たす
初期化。

C++14 、制限緩和。

```
struct S
{
    int x, y=1, z ;
};

S s1 = { 1 } ;
// s1.x == 1, s1.y == 1, s1.z == 0

S s2{ 1,2,3 } ;
// s2.x == 1, s2.y == 2, s2.z == 3
```

初期化、初期化子を持つ非 `static` 対応
値の場合初期化優先。省略の場合初期
化子初期化。初期化初期化子明示の初期
化非 `static` 空初期化初期化場合
同。

機能 `__cpp_aggregate_nsdmi`, 値 201304。

2.11 サイズ付き解放関数

C++14 の `operator delete`、解放取得追加。

```
void operator delete ( void *, std::size_t ) noexcept ;
void operator delete[] ( void *, std::size_t ) noexcept ;
```

第二引数 `std::size_t` 型、第一引数指定指解放与。

以下使用。

```
void * operator new ( std::size_t size )
{
    void * ptr = std::malloc( size ) ;

    if ( ptr == nullptr )
        throw std::bad_alloc() ;

    std::cout << "allocated storage of size: " << size << '\n' ;
    return ptr ;
}

void operator delete ( void * ptr, std::size_t size ) noexcept
{
    std::cout << "deallocated storage of size: " << size << '\n' ;
    std::free( ptr ) ;
}

int main()
{
    auto u1 = std::make_unique<int>(0) ;
    auto u2 = std::make_unique<double>(0.0) ;
}
```

機能 `__cpp_sized_deallocation`, 値 201309。



第3章

C++17 のコア言語の新機能

C++14 の新機能の最終版、および C++17 のコア言語の新機能解説。

C++17 のコア言語の新機能、C++11 の大規模な変更。

3.1 トライグラフの廃止

C++17 のトライグラフの廃止。

トライグラフの廃止は、読者の変更が必要。トライグラフの廃止は、読者の変更が必要。

3.2 16 進数浮動小数点数リテラル

C++17 の浮動小数点数リテラルの 16 進数使用。

16 進数浮動小数点数リテラル、0x 続く仮数部 16 進数 (0123456789abcdefABCDEF) の書、p 続く指数部 10 進数の書。

```
double d1 = 0x1p0 ; // 1
double d2 = 0x1.0p0 ; // 1
double d3 = 0x10p0 ; // 16
double d4 = 0xabcp0 ; // 2748
```

指数部 e または p を使用。

```
double d1 = 0x1p0 ;
double d2 = 0x1P0 ;
```

16 進数浮動小数点数リテラル、指数部省略。

```
int a = 0x1 ; // 整数
```

第3章 C++17 言語新機能

```
0x1.0 ; // 指数部、指数部
```

指数部 10 進数記述。16 進数浮動小数点数部 2 指数部乗掛値。、

```
0xNpM
```

浮動小数点数部値

$$N \times 2^M$$

。

```
0x1p0 ; // 1
0x1p1 ; // 2
0x1p2 ; // 4
0x10p0 ; // 16
0x10p1 ; // 32
0x1p-1 ; // 0.5
0x1p-2 ; // 0.25
```

16 進数浮動小数点数部浮動小数点数部記述。

```
auto a = 0x1p0f ; // float
auto b = 0x1p0l ; // long double
```

16 進数浮動小数点数部、浮動小数点数部表現方法詳細知環境 (IEEE-754)、正確浮動小数点数部表現記述。機能 `__cpp_hex_float`, 値 201603。

3.3 UTF-8 文字リテラル

C++17 UTF-8 文字追加。

```
char c = u8'a' ;
```

UTF-8 文字文字 `u8` 付。UTF-8 文字 UTF-8 単位 1 表現文字扱。UCS 規格、C0 制御文字基本文字 Unicode 該当。UTF-8 文字書文字複数 UTF-8 単位必要場合。

```
//
```

3.4 関数型例外指定

```
// U+3042 UTF-8 0xE3, 0x81, 0x82 3 バイト単位表現必要
// 関数
u8' ' ;
```

機能。

3.4 関数型としての例外指定

C++17 例外指定関数型組。

例外指定 `noexcept`。 `noexcept` `noexcept(true)` 指定関数例外外投。

C++14 例外指定型入。、無例外指定付関数型型無例外保証。

```
// C++14
void f()
{
    throw 0 ;
}

int main()
{
    // 無例外指定付関数型
    void (*p)() noexcept = &f ;

    // 無例外指定関数型例外投
    p() ;
}
```

C++17 例外指定型組。例外指定関数型例外指定関数型変換。逆。

```
// 型 void()
void f() { }
// 型 void() noexcept
void g() noexcept { }

// OK
// p1, &f 例外指定関数型
void (*p1)() = &f ;
```

第3章 C++17 言語新機能

```
// OK
// 例外指定関数型&g 例外指定関数型p2
// 変換
void (*p2)() = &g ; // OK

// 
// 例外指定関数型&f 例外指定関数型p3
// 変換
void (*p3)() noexcept = &f ;

// OK
// p4, &g 例外指定関数型
void (*p4)() noexcept = &g ;
```

機能 `__cpp_noexcept_function_type`, 値 201510。

3.5 fold 式

C++17 fold 式 入。fold 元 数学 概念 畳込 呼。

C++ fold 式 中身 二項演算子 適用 式。

今、可変長 使 受 取 値 加算 合計 返 関数 `sum` 書。

```
template < typename T, typename ... Types >
auto sum( T x, Types ... args ) ;

int main()
{
    int result = sum(1,2,3,4,5,6,7,8,9) ; // 45
}
```

関数 `sum` 以下 実装。

```
template < typename T >
auto sum( T x )
{
    return x ;
}
```

```
template < typename T, typename ... Types >
auto sum( T x, Types ... args )
{
    return x + sum( args... ) ;
}
```

`sum(x, args)` は 1 番目の引数 `x` と、残りの引数 `args` を受取る。つまり、`x + sum(args ...)` を返す。つまり、`sum(args ...)` は `sum(x, args)` を渡す、1 番目の引数、つまり最初に見る 2 番目の引数 `x` が入る、つまり `sum` を呼ぶ。つまり再帰的に処理を繰り返す。

つまり、引数 1 は `sum` を呼ぶ。つまり重要。つまり可変長引数は 0 個の引数を取る、つまり可変長引数の版 `sum` を呼ぶ、つまり次 `sum` を呼ぶ、つまり再帰的に処理を繰り返す、つまり再帰的に終了条件、つまり引数 1 は `sum` の関数を書く。

可変長引数は任意個の引数に対応、つまり再帰的に処理を繰り返す。

つまり、つまり実現 `N` 個の引数 `args` の中身を対偶、仮 `N` 番目の `args#N` を表記して使え、`args#0 + args#1 + ... + args#N-1` を展開する。C++17 の fold 式は `fold` 式は二項演算子に適用して展開する機能。

fold 式は `sum` の以下のように書く。

```
template < typename ... Types >
auto sum( Types ... args )
{
    return ( ... + args ) ;
}
```

`(... + args)` は、`args#0 + args#1 + ... + args#N-1` を展開する。

fold 式は、単項 fold 式、二項 fold 式。つまり、演算子の結合順序は左 fold、右 fold。

fold 式は必ず括弧で囲む。

```
template < typename ... Types >
auto sum( Types ... args )
{
    // fold 式
    ( ... + args ) ;
}
```

第3章 C++17 新語法新機能

```
// 括弧、括弧
... + args ;
}
```

單項 fold 式文法以下。

```
單項右fold
( cast-expression fold-operator ... )
單項左fold
( ... fold-operator cast-expression )
```

例：

```
template < typename ... Types >
void f( Types ... args )
{
    // 單項左 fold
    ( ... + args ) ;
    // 單項右 fold
    ( args + ... ) ;
}
```

cast-expression 未展開入。

例：

```
template < typename T >
T f( T x ) { return x ; }

template < typename ... Types >
auto g( Types ... args )
{
    // f(args#0) + f(args#1) + ... + f(args#N-1)
    return ( ... + f(args) ) ;
}
```

f(args) 展開。

fold-operator 以下二項演算子使。

```
+ - * / % ^ & | << >>
+= -= *= /= %= ^= &= |= <<= >>=
== != < > <= >= && || , .* ->*
```


fold 式は左 fold と右 fold の 2 種類がある。

左 fold 式 `(... op pack)` は、展開結果 `(((pack#0 op pack#1) op pack#2) ... op pack#N-1)` となる。右 fold 式 `(pack op ...)` は、展開結果 `(pack#0 op (pack#1 op (pack#2 op (... op pack#N-1))))` となる。

```
template < typename ... Types >
void sum( Types ... args )
{
    // 左 fold
    // (((1+2)+3)+4)+5)
    auto left = ( ... + args ) ;
    // 右 fold
    // (1+(2+(3+(4+5))))
    auto right = ( args + ... ) ;
}

int main()
{
    sum(1,2,3,4,5) ;
}
```

浮動小数点数の交換法則を満たす型に fold 式を適用する際は注意が必要。

二項 fold 式の文法は以下の通り。

```
( cast-expression fold-operator ... fold-operator cast-expression )
```

左右の `cast-expression` は片方が未展開の式であることを示す。2 の `fold-operator` は同演算子を示す。

`(e1 op1 ... op2 e2)` は二項 fold 式、`e1` は右 fold 式の場合、`e2` は左 fold 式の場合を示す。

```
template < typename ... Types >
void sum( Types ... args )
{
    // 左 fold
    // (((((0+1)+2)+3)+4)+5)
    auto left = ( 0 + ... + args ) ;
    // 右 fold
    // (1+(2+(3+(4+(5+0))))))
}
```

第3章 C++17 言語新機能

```
    auto right = ( args + ... + 0 ) ;
}
```

```
int main()
{
    sum(1,2,3,4,5) ;
}
```

fold 式は二項演算子適用の複雑な再帰的書式を提供する。

機能名 `__cpp_fold_expressions`, 値 201603。

3.6 ラムダ式で *this のコピーキャチャー

C++17 式 `*this` は再帰的書式で、`*this` の書式。

```
struct X
{
    int data = 42 ;
    auto get()
    {
        return [*this]() { return this->data ; } ;
    }
};
```

```
int main()
{
    std::function < int () > f ;
    {
        X x ;
        f = x.get() ;
    } // x の寿命
    // 問題
    int data = f() ;
}
```

`*this` 式は場所 `*this`、以下挙動は異なる。

3.6 `lambda式 *this`

```

struct X
{
    int data = 0 ;
    void f()
    {
        // this
        // data
        [this]{ data = 1 ; }() ;

        // this->data

        // 、*this
        // 変数
        // 変更
        [*this]{ data = 2 ; } () ;

        // OK、mutable 使

        [*this]() mutable { data = 2 ; } () ;

        // this->data
        // 変更 内 *this
    }
};

```

最初`lambda式`生成以下。

```

class closure_object
{
    X * this_ptr ;

public :
    closure_object( X * this_ptr )
        : this_ptr(this_ptr) { }

    void operator () () const
    {
        this_ptr->data = 1 ;
    }
};

```

2 番目`lambda式`以下生成。

第3章 C++17 言語新機能

```

class closure_object
{
    X this_obj ;
    X const * this_ptr = &this_obj ;

public :
    closure_object( X const & this_obj )
        : this_obj(this_obj) { }

    void operator () () const
    {
        this_ptr->data = 2 ;
    }
};

```

この C++ 文法は、`mutable` 付の静的な変数値を変更する。3 番目の式以下は、`mutable` 付の静的な変数値を変更する。

```

class closure_object
{
    X this_obj ;
    X * this_ptr = &this_obj ;

public :
    closure_object( X const & this_obj )
        : this_obj(this_obj) { }

    void operator () ()
    {
        this_ptr->data = 2 ;
    }
};

```

この式は `mutable` 付の静的な変数値を変更する。
`*this` の場合、`this` の静的な変数値を変更する。

```

struct X
{
    int data = 42 ;
    void f()

```

```

    {
        // this 関数 f を呼出す
        std::printf("%p\n", this) ;

        // this 別関数
        [*this]() { std::printf("%p\n", this) ; }() ;
    }
};

int main()
{
    X x ;
    x.f() ;
}

```

この場合、出力は 2 行の値が異なる。

ラムダ式は `*this` 名前空間 `*this` 関数を提供する提案。同等の機能を初期化関数可能、表記冗長間違い元。

```

struct X
{
    int data ;

    auto f()
    {
        return [ tmp = *this ] { return tmp.data ; } ;
    }
};

```

機能は `__cpp_capture_star_this`, 値は 201603。

3.7 constexpr ラムダ式

C++17 ラムダ式は `constexpr` 関数。正確説明、ラムダ式は `operator ()` 条件満ち場合 `constexpr` 関数。

```

int main()
{
    auto f = [] { return 42 ; } ;
}

```

第3章 C++17 言語の新機能

```
constexpr int value = f() ; // OK
}
```

constexpr 条件を満たす式の時定数必要場所使用。
 constexpr 変数配列添字 static_assert 。

```
int main()
{
    auto f = []{ return 42 ; } ;

    int a[f()] ;
    static_assert( f() == 42 ) ;
    std::array<int, f()> b ;
}
```

constexpr 条件を満たす、。

```
int main()
{
    int a = 0 ; // 実行時値
    constexpr int b = 0 ; // 時定数

    auto f = [=]{ return a ; } ;
    auto g = [=]{ return b ; } ;

    // 、constexpr 条件を満たす
    constexpr int c = f() ;

    // OK、constexpr 条件を満たす
    constexpr int d = g() ;
}
```

以下内容上級者向け解説、通常読者理解必要。

constexpr 式 SFINAE 文脈使用。

```
//
template < typename T,
    bool b = []{
        T t ;
        t.func() ;
        return true ;
    }() >
```


第 3 章 C++17 言語新機能

```

}
```

C++17 言語、上記と同様に以下に書ける。

```

namespace A::B::C {
// ...
}
```

機能は `__cpp_nested_namespace_definitions`, 値 201411。

3.10 `[[fallthrough]]` 属性

`[[fallthrough]]` 属性は `switch` 文の中で `case` ごとに突抜けることを示し、出続ける。

`switch` 文に対応する `case` ごとに処理を移す。通常、以下に書ける。

```

void f( int x )
{
    switch ( x )
    {
        case 0 :
            // 処理 0
            break ;
        case 1 :
            // 処理 1
            break ;
        case 2 :
            // 処理 2
            break ;
        default :
            // x が他の値の場合に処理
            break ;
    }
}
```

例として以下に書ける。

```

case 1 :
    // 処理 1
case 2 :
    // 処理 2
    break ;
```


`x` 1 処理 1 実行後、処理 2 実行。switch 文書誤
誤書。、賢 C++ 処理 switch 文 case break 文 return 文処理終、次 case
default 処理突抜見、警告出。

、意図突抜処理場合、警告誤警告抑制、
中処理突抜意図記述、
`[[fallthrough]]` 属性追加。

```
case 1 :
    // 処理 1
    [[fallthrough]]
case 2 :
    // 処理 2
    break ;
```

`[[fallthrough]]` 属性書、C++ 処理先突抜、
誤警告抑制。、他人読
意図明。

機能 `__has_cpp_attribute(fallthrough)`, 値 201603。

3.11 `[[nodiscard]]` 属性

`[[nodiscard]]` 属性関数戻値無視使。
`[[nodiscard]]` 属性付与関数戻値無視警告表示。

```
[[nodiscard]] int f()
{
    return 0 ;
}

void g( int ) { }
```

```
int main()
{
    // 、戻値無視
    f() ;
}
```


10

3.12 `[[maybe_unused]]` 属性

```
// 関数を確認
do_something_that_may_fail() ;

// 関数の前提条件次処理
do_something_on_no_error() ;
}
```

関数 `[[nodiscard]]` 属性は付与、関数側側初步の確認を確認欠如警告を出。

`[[nodiscard]]` 属性、`enum` は付与。

```
class [[nodiscard]] X { } ;
enum class [[nodiscard]] Y { } ;
```

`[[nodiscard]]` は付与 `enum` は戻り値型関数 `[[nodiscard]]` は付与。

```
class [[nodiscard]] X { } ;
```

```
X f() { return X{} ; }
```

```
int main()
{
    // 警告、戻り値無視
    f() ;
}
```

機能 `__has_cpp_attribute(nodiscard)`, 値 201603。

3.12 `[[maybe_unused]]` 属性

`[[maybe_unused]]` 属性は名前空間の意図的使用を示す。

現実 C++ は、宣言、考慮、使用、名前存在。

```
void do_something( int *, int * ) ;
```

```
void f()
{
    int x[5] ;
}
```

第3章 C++17 新言語新機能

```

char reserved[1024] = { } ;
int y[5] ;

do_something( x, y ) ;
}

```

このコードで `reserved` という名前が使用されている。一見、この名前が不要に見える。優秀な C++ のコードは、このように使用されている名前に対して「この名前が使用されている」ことを警告メッセージで出す。

この、警告メッセージを見れば、このコードがなぜ警告を出しているのか、その理由が `reserved` という名前が一見使用されている変数が不要であることがわかる。

この、`reserved` という名前が破壊的検出領域に属している。この C++ 以外に言語書に定義されている名前、この使用されている名前、この OS の外部に定義されている名前、この確保されている名前。

この理由、名前が使用されている一見使用されている名前が存在しなくても意味を表す、`[[maybe_unused]]` 属性が使用されている。この、C++ の「未使用の名前」の警告メッセージを抑制する。

```
[[maybe_unused]] char reserved[1024] ;
```

`[[maybe_unused]]` 属性は適用される名前、宣言、`enum`、`typedef` 名、変数、非 `static` の関数、`enum`、`enumerator` 。

```

// 関数
class [[maybe_unused]] class_name
{
// 非 static の関数
    [[maybe_unused]] int non_static_data_member ;

} ;

// typedef 名
// 関数
[[maybe_unused]] typedef int typedef_name1 ;
typedef int typedef_name2 [[maybe_unused]] ;

// 関数宣言の typedef 名
using typedef_name3 [[maybe_unused]] = int ;

```

```
// 変数
// [[maybe_unused]]
[[maybe_unused]] int variable_name1{};
int variable_name2 [[maybe_unused]] { } ;

// 関数
// [[maybe_unused]]関数同文法
// [[maybe_unused]]
[[maybe_unused]] void function_name1() { }
void function_name2 [[maybe_unused]] () { }

enum [[maybe_unused]] enum_name
{
// enumerator
    enumerator_name [[maybe_unused]] = 0
};
```

機能`__has_cpp_attribute(maybe_unused)`, 値 201603

3.13 演算子のオペランドの評価順序の固定

C++17 演算子`[[maybe_unused]]`評価順序固定。

以下式`a`、`b` 順番評価規格上保証。`@= @` 文法上許任意演算子入 (`+=`, `-=`)。

```
a.b
a->b
a->*b
a(b1,b2,b3)
b = a
b @= a
a[b]
a << b
a >> b
```

例、

```
int* f() ;
int g() ;
```

第3章 C++17 言語新機能

```
int main()
{
    f()[g()] ;
}
```

この場合、関数 `f` が先に呼ばれ、次に関数 `g` が呼ばれることを保証する。

関数が呼ばれる実引数の `b1`, `b2`, `b3` の評価順序は未規定である。

また、既存の未定義動作も挙動が定められている。

3.14 constexpr if 文：コンパイル時条件分岐

`constexpr if` 文はコンパイル時条件分岐機能である。

`constexpr if` 文、通常 `if` 文 `if constexpr` を置換する。

```
// if 文
if ( expression )
    statement ;

// constexpr if 文
if constexpr ( expression )
    statement ;
```

`constexpr if` 文は名前空間、実際の記述は `if constexpr` である。

コンパイル時条件分岐は何の意味がある。以下 `constexpr if` 文の挙動を一覧する。

- 最適化
- 非 `constexpr` 挙動の変化

コンパイル時条件分岐機能の理解、C++ の既存条件分岐の理解が必要である。

3.14.1 実行時の条件分岐

通常実行時条件分岐、実行時値取得、実行時条件分岐を行う。

```
void f( bool runtime_value )
{
    if ( runtime_value )
        do_true_thing() ;
}
```

```

    else
        do_false_thing() ;
}

```

場合、runtime_value が true 場合関数 do_true_thing を呼び、false 場合関数 do_false_thing を呼び。

実行時条件分岐条件、定数指定。

```

if ( true )
    do_true_thing() ;
else
    do_false_thing() ;

```

場合、賢以下処理最適化。

```
do_true_thing() ;
```

条件常 true。最適化実行時条件分岐時行。条件分岐最適化目的。

一度例戻。今度完全見。

```

// do_true_thing の宣言
void do_true_thing() ;

// do_false_thing の宣言が存在

void f( bool runtime_value )
{
    if ( true )
        do_true_thing() ;
    else
        do_false_thing() ; //
}

```

理由、do_false_thing 名前宣言。C++、時以下形変形最適化、

```

void do_true_thing() ;

void f( bool runtime_value )

```

第3章 C++17 言語新機能

```
{
    do_true_thing() ;
}
```

最適化結果失、依然時検証。検証、誤。名前 `do_false_thing` 宣言存在。

3.14.2 プリプロセス時の条件分岐

C++ C 言語受継 C 時条件分岐機能。

```
// do_true_thing 宣言
void do_true_thing() ;

// do_false_thing 宣言存在

void f( bool runtime_value )
{
    #if true
        do_true_thing() ;
    #else
        do_false_thing() ;
    #endif
}
```

、結果、以下変換。

```
void do_true_thing() ;

void f( bool runtime_value )
{
    do_true_thing() ;
}
```

結果、時条件分岐、選択分岐、書。

時条件分岐、条件整数 `bool` 型、比較演算子適用結果。、時計算。

3.14 constexpr if 文 : コンパイル時条件分岐

```
constexpr int f()
{
    return 1 ;
}

void do_true_thing() ;

int main()
{
    // 例
    // 名前 f コンパイル時条件分岐
    #if f()
        do_true_thing() ;
    #else
        do_false_thing() ;
    #endif
}
```

3.14.3 コンパイル時の条件分岐

コンパイル時条件分岐、分岐条件コンパイル時計算結果使用、選択コンパイル分岐コンパイル時含使用、使用コンパイルコンパイル時条件分岐。

例、std::distance 標準コンパイル実装コンパイル。std::distance(first, last) 例、コンパイル first last 距離返。

```
template < typename Iterator >
constexpr typename std::iterator_traits<Iterator>::difference_type
distance( Iterator first, Iterator last )
{
    return last - first ;
}
```

残念、実装 Iterator コンパイル時場合動。入力コンパイル時対応、コンパイル 1 コンパイル last 等コンパイル比較実装必要。

```
template < typename Iterator >
constexpr typename std::iterator_traits<Iterator>::difference_type
distance( Iterator first, Iterator last )
{
```

第3章 C++17 言語新機能

```

        typename std::iterator_traits<Iterator>::difference_type n = 0 ;

        while ( first != last )
        {
            ++n ;
            ++first ;
        }

        return n ;
    }

```

残念、実装 `Iterator` の渡す `last - first` の効率が悪く、

必要実装、`Iterator` の `last - first` を使、地道に遅く実装使。 `Iterator` の、以下 `is_random_access_iterator` の確認。

```

template < typename Iterator >
constexpr bool is_random_access_iterator =
    std::is_same_v<
        typename std::iterator_traits<
            std::decay_t<Iterator>
        >::iterator_category,
        std::random_access_iterator_tag > ;

```

、`distance` 以下に書。

```

// 判定
template < typename Iterator >
constexpr bool is_random_access_iterator =
    std::is_same_v<
        typename std::iterator_traits<
            std::decay_t<Iterator>
        >::iterator_category,
        std::random_access_iterator_tag > ;

// distance
template < typename Iterator >
constexpr typename std::iterator_traits<Iterator>::difference_type
distance( Iterator first, Iterator last )

```

3.14 constexpr if 文 : 条件分岐

```

{
    // 乱数アクセス確認
    if ( is_random_access_iterator<Iterator> )
    { // 乱数アクセス速く方法を使う
        return last - first ;
    }
    else
    { // 乱数アクセス遅く方法を使う
        typename std::iterator_traits<Iterator>::difference_type n = 0 ;

        while ( first != last )
        {
            ++n ;
            ++first ;
        }

        return n ;
    }
}

```

残念なことに、コンパイラが動く。コンパイラがコンパイル時に
 乱数アクセス速く、last - first の乱数アクセス速く、乱数
 アクセス速く。コンパイラが、

```

if ( is_random_access_iterator<Iterator> )

```

この部分で、is_random_access_iterator<Iterator> の値がコンパイル時
 計算される、最終的に生成される結果は、if (true) と if (false) の
 どちらか判断される。コンパイラが選択する分岐は生成される
 コードに反映される。コンパイラが、コンパイラが、

constexpr if を使った、選択する部分に分岐をコンパイル時に
 反映させることができる。

```

// distance
template < typename Iterator >
constexpr typename std::iterator_traits<Iterator>::difference_type
distance( Iterator first, Iterator last )
{
    // 乱数アクセス確認
    if constexpr ( is_random_access_iterator<Iterator> )
    { // 乱数アクセス速く方法を使う

```

第3章 C++17 新言語新機能

```

        return last - first ;
    }
    else
    { // 遅延方法を使う
        typename std::iterator_traits<Iterator>::difference_type n = 0 ;

        while ( first != last )
        {
            ++n ;
            ++first ;
        }

        return n ;
    }
}

```

3.14.4 超上級者向け解説

constexpr if 文、実体化時条件分岐文。実体化時、選択実体化抑制行機能。

constexpr if 文 選択文 discarded statement 文。
discarded statement 実体化際実体化。

```

struct X
{
    int get() { return 0 ; }
};

template < typename T >
int f(T x)
{
    if constexpr ( std::is_same_v< std::decay_t<T>, X > )
        return x.get() ;
    else
        return x ;
}

int main()
{
    X x ;
}

```

3.14 constexpr if 文 : 条件分岐

```

    f( x ) ; // return x.get()
    f( 0 ) ; // return x
}

```

f(x) の、return x の discarded statement は実体化される。x は int 型の暗黙の変換の問題である。f(0) は return x.get() の discarded statement は実体化される。int 型の関数 get の問題である。

discarded statement は実体化されない、これは文法の、意味の正しい場合、最初に static_assert の式を書く

```

template < typename T >
void f( T x )
{
    // 名前、名前 g の宣言
    if constexpr ( false )
        g() ;

    // 文法違反
    if constexpr ( false )
        !#%^&*()_+ ;
}

```

何の説明、constexpr if は実体化条件付き抑制。条件付き。

```

template < typename T >
void f()
{
    if constexpr ( std::is_same_v<T, int> )
    {
        // 常
        static_assert( false ) ;
    }
}

```

常、static_assert(false) は依存、宣言の解釈、依存名の解釈。

最初に static_assert の式を書く

第3章 C++17 言語新機能

例。

```
template < typename T >
void f()
{
    static_assert( std::is_same_v<T, int> );

    if constexpr ( std::is_same_v<T, int> )
    {
    }
}
```

例、例の constexpr 文条件合致時に static_assert を使用する場合。例、constexpr if の条件合致時に、その内容全部 static_assert を書く冗長場合。

```
template < typename T >
void f()
{
    if constexpr ( E1 )
        if constexpr ( E2 )
            if constexpr ( E3 )
            {
                // E1 && E2 && E3 の条件合致時に
                // 実際は常に true となる
                static_assert( false );
            }
}
```

現実例、E1, E2, E3 の複雑な式、static_assert(E1 && E2 && E3) を書く場合。同内容二度書く間違え元。

例の場合、static_assert の引数依存例、constexpr if 条件合致時に static_assert を書く。

```
template < typename ... >
bool false_v = false ;

template < typename T >
void f()
{
    if constexpr ( E1 )
        if constexpr ( E2 )
```

3.14 constexpr if 文 : 定時条件分岐

```

    if constexpr ( E3 )
    {
        static_assert( false_v<T> ) ;
    }
}

```

`false_v` を使った、`static_assert` の引数 `T` が依存する。結果、`static_assert` が発動し実体化が遅延する。

`constexpr if` は非依存な書式、場合普通 `if` 文と同様。

3.14.5 constexpr if では解決できない問題

`constexpr if` は条件付き実体化の抑制、最初の問題を解決に使えない。以下に問題がある。

```

// do_true_thing を宣言
void do_true_thing() ;

// do_false_thing を宣言し存在を知らせる

void f( bool runtime_value )
{
    if constexpr ( true )
        do_true_thing() ;
    else
        do_false_thing() ; // 問題
}

```

理由、名前 `do_false_thing` は非依存名で宣言時に解決できない。

3.14.6 constexpr if で解決できる問題

`constexpr if` は依存名に関与する場合、実体化の抑制が可能。

例、特定型に対する特別操作の場合

```

struct X
{
    int get_value() ;
}

```

第3章 C++17 言語の新機能

```

    } ;

    template < typename T >
    void f(T t)
    {

        int value{} ;

        // T 型 X 型 特別処理行
        if constexpr ( std::is_same<T, X>{} )
        {
            value = t.get_value() ;
        }
        else
        {
            value = static_cast<int>(t) ;
        }
    }

```

constexpr if 型 X 型 t.get_value() 式
実体化、。

再帰の特殊化

```

// factorial<N> N 階乗返
template < std::size_t I >
constexpr std::size_t factorial()
{
    if constexpr ( I == 1 )
    { return 1 ; }
    else
    { return I * factorial<I-1>() ; }
}

```

constexpr if 型、factorial<N-1> 永遠実体化時
停止。

機能 `__cpp_if_constexpr`, 値 201606。

3.15 初期化文付き条件文

C++17 条件文初期化文記述。


```

if ( int x = 1 ; x )
    /*...*/ ;

switch( int x = 1 ; x )
{
    case 1 :
        /*... */;
}

```

、以下と同意味。

```

{
    int x = 1 ;
    if ( x ) ;
}

{
    int x = 1 ;
    switch( x )
    {
        case 1 : ;
    }
}

```

機能追加、変数宣言、if 文条件変数使用、if 文実行後変数使用、現実頻出。

```

void * ptr = std::malloc(10) ;
if ( ptr != nullptr )
{
    // 処理
    std::free(ptr) ;
}
// ptr を使

FILE * file = std::fopen("text.txt", "r") ;
if ( file != nullptr )
{
    // 処理
    std::fclose( file ) ;
}

```

第3章 C++17 言語新機能

```
// 以降 file を使います

auto int_ptr = std::make_unique<int>(42) ;
if ( ptr )
{
    // 処理
}
// 以降 int_ptr を使います
```

上記の問題は、以降変数を使います、変数自体を使います。

```
auto ptr = std::make_unique<int>(42) ;
if ( ptr )
{
    // 処理
}
// 以降 ptr を使います
```

```
// 使います
int value = *ptr ;
```

変数を使います、開きます、変数外に。

```
{
    auto int_ptr = std::make_unique<int>(42) ;
    if ( ptr )
    {
        // 処理
    }
    // ptr を破棄します
}
// 以降 ptr を使います
```

頻出、初期化文付条件文追加。

```
if ( auto ptr = std::make_unique<int>(42) ; ptr )
{
    // 処理
}
```

3.16 変数型テンプレートのコンストラクターからの実引数推定

3.16 クラステンプレートのコンストラクターからの実引数推定

C++17 変数型テンプレートコンストラクターからの実引数推定は、関数型テンプレートコンストラクターからの実引数推定と同様に機能する。

```
template < typename T >
struct X
{
    X( T t ) { }
};

int main()
{
    X x1(0) ; // X<int>
    X x2(0.0) ; // X<double>
    X x3("hello") ; // X<char const *>
}
```

関数型テンプレートコンストラクターからの実引数推定と同様に、変数型テンプレートコンストラクターからの実引数推定も機能する。

```
template < typename T >
void f( T t ) { }

int main()
{
    f( 0 ) ; // f<int>
    f( 0.0 ) ; // f<double>
    f( "hello" ) ; // f<char const *>
}
```

3.16.1 推定ガイド

変数型テンプレートコンストラクターからの実引数推定は、関数型テンプレートコンストラクターからの実引数推定と一致する場合がある。関数型テンプレートコンストラクターからの実引数推定は、変数型テンプレートコンストラクターからの実引数推定と一致する場合がある。

```
// 変数型テンプレートコンストラクター
template < typename T >
class Container
```

第3章 C++17 言語新機能

```

{
    std::vector<T> c ;
public :
    // 初期化
    // Iterator T
    // T 推定
    template < typename Iterator >
    Container( Iterator first, Iterator last )
        : c( first, last )
    { }
} ;

int main()
{
    int a[] = { 1,2,3,4,5 } ;

    //
    // T 推定
    Container c( std::begin(a), std::end(a) ) ;
}

```

、C++17 推定 機能提供。

名(引数) -> id ;

使、以下 書。

```

template < typename Iterator >
Container( Iterator, Iterator )
-> Container< typename std::iterator_traits< Iterator >::value_type > ;

```

C++ 推定 使、Container<T>::Container(Iterator, Iterator)、T std::iterator_traits<Iterator>::value_type 推定 判断。

、初期化 対応 以下 書。

```

template < typename T >
class Container
{
    std::vector<T> c ;
public :

```

3.17 autoによる非型テンプレートパラメーターの宣言

```

        Container( std::initializer_list<T> init )
            : c( init )
        { }
    } ;

template < typename T >
Container( std::initializer_list<T> ) -> Container<T> ;

int main()
{
    Container c = { 1,2,3,4,5 } ;
}

```

C++ の非型テンプレートパラメーターの推定、`Container<T>::Container(std::initializer_list<T>)`の場合 `T` が `T` の非型テンプレートパラメーターの推定される。機能 `__cpp_deduction_guides`, 値 201606。

3.17 autoによる非型テンプレートパラメーターの宣言

C++17 の非型テンプレートパラメーターの宣言 `auto` を使用することができる。

```

template < auto x >
struct X { } ;

void f() { }

int main()
{
    X<0> x1 ;
    X<01> x2 ;
    X<&f> x3 ;
}

```

これは C++14 の非型テンプレートパラメーター、以下に書かれているように。

```

template < typename T, T x >
struct X { } ;

```

第3章 C++17 言語の新機能

```

void f() { }

int main()
{
    X<int, 0> x1 ;
    X<long, 01> x2 ;
    X<void(*)(), &f> x3 ;
}

```

機能 `__cpp_template_auto`, 値 201606。

3.18 using 属性名前空間

C++17 での、属性名前空間 `using` 記述。

```

// [[extension::foo, extension::bar]]
[[ using extension : foo, bar ]] int x ;

```

属性、属性名前空間付、独自拡張属性名前衝突回避。

、C++ 独自拡張 `foo, bar` 属性、別 C++ 同独自拡張 `foo, bar` 属性保持、意味違場合、意味違。

```
[[ foo, bar ]] int x ;
```

、C++ 属性名前空間文法用意。注意深く C++ 独自拡張属性属性名前空間設定。

```
[[ extension::foo, extension::bar ]] int x ;
```

問題、記述面倒。

C++17 での、using 属性名前空間機能、using 名前空間省略可能。文法 `using` 似、属性中 `using name : ...` 書、続属性、属性名前空間 `name` 付同効果得。

3.19 非標準属性の無視

C++17 属性、非標準属性の無視。

```
// OK、無視
[[ wefapiaofeaofjaopfij ]] int x ;
```

属性 C++ 独自拡張 C++ 規格準拠形式に追加機能。属性の無視の場合、C 使用、独自文法使用。機能必須。

3.20 構造化束縛

C++17 追加構造化束縛多値分解受取変数宣言文法。

```
int main()
{
    int a[] = { 1,2,3 } ;
    auto [b,c,d] = a ;

    // b == 1
    // c == 2
    // d == 3
}
```

C++ 属性、方法多値扱。配列、`tuple`、`pair`。

```
int a[] = { 1,2,3 } ;
struct B
{
    int a ;
    double b ;
    std::string c ;
} ;

B b{ 1, 2.0, "hello" } ;
```

第3章 C++17 言語新機能

```
std::tuple< int, double, std::string > c { 1, 2.0, "hello" } ;
```

```
std::pair< int, int > d{ 1, 2 } ;
```

C++ 関数配列以外多値返す。

```
std::tuple< int, double, std::string > f()
{
    return { 1, 2.0, "hello" } ;
}
```

多値受取、多値固受取、多値分解受取。

多値固受取以下。

```
std::tuple< int, double, std::string > f()
{
    return { 1, 2.0, "hello" } ;
}

int main()
{
    auto result = f() ;

    std::cout << std::get<0>(result) << '\n'
              << std::get<1>(result) << '\n'
              << std::get<2>(result) << std::endl ;
}
```

多値分解受取以下。

```
std::tuple< int, double, std::string > f()
{
    return { 1, 2.0, "hello" } ;
}

int main()
{
    int a ;
    double b ;
    std::string c ;
```



```

std::tie( a, b, c ) = f() ;

std::cout << a << '\n'
          << b << '\n'
          << c << std::endl ;
}

```

構造化束縛の使用、以下に示す通り。

```

std::tuple< int, double, std::string > f()
{
    return { 1, 2.0, "hello" } ;
}

int main()
{
    auto [a, b, c] = f() ;

    std::cout << a << '\n'
              << b << '\n'
              << c << std::endl ;
}

```

変数型は対応する多値型。場合、a, b, c は int, double, std::string 型。tuple、pair 使用。

```

int main()
{
    std::pair<int, int> p( 1, 2 ) ;

    auto [a,b] = p ;

    // a は int 型、値 1
    // b は int 型、値 2
}

```

構造化束縛は if 文、switch 文、for 文でも使用。

```

int main()
{

```

第3章 C++17 言語新機能

```

int expr[] = {1,2,3} ;

if ( auto[a,b,c] = expr ; a )
{ }
switch( auto[a,b,c] = expr ; a )
{ }
for ( auto[a,b,c] = expr ; false ; )
{ }
}

```

構造化束縛 `range-based for` 文を使用。

```

int main()
{
    std::map< std::string, std::string > translation_table
    {
        {"dog", "犬"},
        {"cat", "猫"},
        {"answer", "42"}
    } ;

    for ( auto [key, value] : translation_table )
    {
        std::cout<<
            "key="<< key <<
            ", value=" << value << '\n' ;
    }
}

```

`map`、`map` 要素型 `std::pair<const std::string, std::string>` 構造化束縛 `[key, value]` 受ける。

構造化束縛配列を使用。

```

int main()
{
    int values[] = {1,2,3} ;
    auto [a,b,c] = values ;
}

```

構造化束縛 `struct` 使用。

```

struct Values

```

```

{
    int a ;
    double d ;
    std::string c ;
} ;

int main()
{
    Values values{ 1, 2.0, "hello" } ;

    auto [a,b,c] = values ;
}

```

構造化束縛は、非 static の変数に 1 つだけ public に宣言される。

構造化束縛は constexpr 変数に適用される。

```

int main()
{
    constexpr int expr[] = { 1,2 } ;

    // 構造化束縛
    constexpr auto [a,b] = expr ;
}

```

3.20.1 超上級者向け解説

構造化束縛、変数宣言、構造化束縛宣言 (structured binding declaration) は分類として文法で記述される。構造化束縛宣言は、単純宣言 (simple-declaration) の for-range 宣言 (for-range-declaration) の識別子識別子。

単純宣言:

属性 auto CV 修飾子 (省略可) 識別子修飾子 (省略可)
[識別子] 初期化子 ;

for-range 宣言:

属性 auto CV 修飾子 (省略可) 識別子修飾子 (省略可)
[識別子] ;

識別子:

第 3 章 C++17 新言語新機能

区切り識別子

初期化子:

= 式
{ 式 }
(式)

以下に単純宣言の例。

```
int main()
{
    int e1[] = {1,2,3} ;
    struct { int a,b,c ; } e2{1,2,3} ;
    auto e3 = std::make_tuple(1,2,3) ;

    // "= 式" 例
    auto [a,b,c] = e1 ;
    auto [d,e,f] = e2 ;
    auto [g,h,i] = e3 ;

    // "{式}", "(式)" 例
    auto [j,k,l]{e1} ;
    auto [m,n,o](e1) ;

    // CV 修飾子 修飾子 修飾子 使 例
    auto const & [p,q,r] = e1 ;
}
```

以下に for-range 宣言の例。

```
int main()
{
    std::pair<int, int> pairs[] = { {1,2}, {3,4}, {5,6} } ;

    for ( auto [a, b] : pairs )
    {
        std::cout << a << ", " << b << '\n' ;
    }
}
```

3.20.2 構造化束縛宣言の仕様

構造化束縛の構造化束縛宣言は以下のように解釈される。

構造化束縛宣言は宣言した変数の数、初期化子の多値の数一致している必要がある。

```
int main()
{
    // 2 個の値を持つ
    int expr[] = {1,2} ;

    // 1 個、変数の少ない
    auto[a] = expr ;
    // 3 個、変数の多い
    auto[b,c,d] = expr ;
}
```

構造化束縛宣言は宣言した変数の変数名、記述の属性、CV 修飾子、修飾子変数の宣言。

3.20.3 初期化子の型が配列の場合

初期化子の配列の場合、変数の配列要素の初期化。

修飾子がある場合、変数の初期化。

```
int main()
{
    int expr[3] = {1,2,3} ;
    auto [a,b,c] = expr ;
}
```

以下と同義。

```
int main()
{
    int expr[3] = {1,2,3} ;

    int a = expr[0] ;
    int b = expr[1] ;
    int c = expr[2] ;
}
```

第3章 C++17 言語新機能

修飾子の場合、変数修飾子。

```
int main()
{
    int expr[3] = {1,2,3} ;
    auto & [a,b,c] = expr ;
    auto && [d,e,f] = expr ;
}
```

、以下同意味。

```
int main()
{
    int expr[3] = {1,2,3} ;

    int & a = expr[0] ;
    int & b = expr[1] ;
    int & c = expr[2] ;

    int && d = expr[0] ;
    int && e = expr[1] ;
    int && f = expr[2] ;
}
```

、変数型配列の場合、配列要素に対応配列要素初期化。

```
int main()
{
    int expr[][2] = {{1,2},{1,2}} ;
    auto [a,b] = expr ;
}
```

、以下同意味。

```
int main()
{
    int expr[][2] = {{1,2},{1,2}} ;

    int a[2] = { expr[0][0], expr[0][1] } ;
    int b[2] = { expr[1][0], expr[1][1] } ;
}
```

3.20.4 初期化子の型が配列ではなく、std::tuple_size<E> が完全形の名前である場合

構造化束縛宣言の初期化子の型 E が配列の場合、`std::tuple_size<E>` が完全形の名前の場合、構造化束縛宣言の初期化子の型 E 、値 e 。構造化束縛宣言の宣言の 1 目変数 0, 2 目変数 1, ..., i 。

`std::tuple_size<E>::value` は整数の定数式、値の初期化子の値の数。

```
int main()
{
    // std::tuple< int, int, int >
    auto e = std::make_tuple( 1, 2, 3 );
    auto [a,b,c] = e ;

    // std::tuple_size<decltype(e)>::size は 3
}
```

値の取得、非修飾名 `get` の型 E の探求。 `get` が見つけられる場合、変数の初期化子 `e.get<i>()`。

```
auto [a,b,c] = e ;
```

構造化束縛宣言、以下を意味。

```
type a = e.get<0>() ;
type b = e.get<1>() ;
type c = e.get<2>() ;
```

`get` の宣言が見つけられる場合、初期化子 `get<i>(e)`。場合、`get` の連想名前空間を探求。通常非修飾名前検索を行う。

```
// 通常非修飾名前検索を行う
type a = get<0>(e) ;
type b = get<1>(e) ;
type c = get<2>(e) ;
```

構造化束縛宣言の宣言の変数の型は以下で決定。

変数の型 `type` は “`std::tuple_element<i, E>::type`”。

```
std::tuple_element<0, E>::type a = get<0>(e) ;
```

第3章 C++17 言語新機能

```
std::tuple_element<1, E>::type b = get<1>(e) ;
std::tuple_element<2, E>::type c = get<2>(e) ;
```

以下、

```
int main()
{
    auto e = std::make_tuple( 1, 2, 3 ) ;
    auto [a,b,c] = e ;
}
```

以下同等意味。

```
int main()
{
    auto e = std::make_tuple( 1, 2, 3 ) ;

    using E = decltype(e) ;

    std::tuple_element<0, E>::type & a = std::get<0>(e) ;
    std::tuple_element<1, E>::type & b = std::get<1>(e) ;
    std::tuple_element<2, E>::type & c = std::get<2>(e) ;
}
```

以下、

```
int main()
{
    auto e = std::make_tuple( 1, 2, 3 ) ;
    auto && [a,b,c] = std::move(e) ;
}
```

以下意味。

```
int main()
{
    auto e = std::make_tuple( 1, 2, 3 ) ;

    using E = decltype(e) ;

    std::tuple_element<0, E>::type && a = std::get<0>(std::move(e)) ;
    std::tuple_element<1, E>::type && b = std::get<1>(std::move(e)) ;
    std::tuple_element<2, E>::type && c = std::get<2>(std::move(e)) ;
}
```



```

    }

```

3.20.5 上記以外の場合

上記以外の場合、構造化束縛宣言の初期化子型 E の型、非 static の public の直接、単一の曖昧の public 基本の必要。E の匿名 union の。

以下型 E の適切な例。

```

struct A
{
    int a, b, c ;
} ;

struct B : A { } ;

```

以下型 E の不適切な例。

```

// public 以外非 static
struct A
{
public :
    int a ;
private :
    int b ;
} ;

struct B
{
    int a ;
} ;
// 基本非static
struct C : B
{
    int b ;
} ;

// 匿名 union
struct D

```

第 3 章 C++17 新言語新機能

```

{
    union
    {
        int i ;
        double d ;
    }
};

```

型 E 非 static 変数宣言の順番に多値認識。
以下、

```

int main()
{
    struct { int x, y, z ; } e{1,2,3} ;

    auto [a,b,c] = e ;
}

```

以下が意味の等。

```

int main()
{
    struct { int x, y, z ; } e{1,2,3} ;

    int a = e.x ;
    int b = e.y ;
    int c = e.z ;
}

```

構造体束縛の対応。

```

struct S
{
    int x : 2 ;
    int y : 4 ;
} ;

int main()
{
    S e{1,3} ;
    auto [a,b] = e ;
}

```

機能 `__cpp_structured_bindings`, 値 201606。

3.21 inline 変数

C++17 変数 `inline` 指定。

```
inline int variable ;
```

変数 `inline` 変数呼。意味 `inline` 関数同。

3.21.1 inline の歴史的な意味

今昔、本書執筆 30 年以上昔、`inline` C++ 追加。

`inline` 現在意味誤解。

`inline` 関数意味、「関数強制的展開機能」。

大事一度書、`inline` 関数意味、「関数強制的展開機能」。

確、`inline` 関数意味、関数強制的展開機能。

関数展開、以下

```
int min( int a, int b )
{ return a < b ? a : b ; }

int main()
{
    int a, b ;
    std::cin >> a >> b ;

    // a < b 小方選
    int value = min( a, b ) ;
}
```

関数 `min` 十分小、関数呼出無視、以下最適化考。

```
int main()
{
    int a, b ;
    std::cin >> a >> b ;
```



```
void f() { } // OK、定義
```

```
void f() { } // 再定義
```

通常、関数を使う場合宣言と書を使う。定義は 1 個の翻訳単位で書ける。

```
// f.h
```

```
void f() ;
```

```
// f.cpp
```

```
void f() { }
```

```
// main.cpp
```

```
#include "f.h"
```

```
int main()
```

```
{
```

```
    f() ;
```

```
}
```

関数、関数の展開、関数の実装上都合、関数の定義は 1 個の翻訳単位で書ける。

```
inline void f() ;
```

```
int main()
```

```
{
```

```
    // 関数、定義
```

```
    f() ;
```

```
}
```

関数、翻訳単位で定義、定義重複 ODR 違反。

C++ 関数問題解決、inline 関数定義同一、複数翻訳単位で定義。ODR 違反。

```
// a.cpp
```

```
inline void f() { }
```

第3章 C++17 言語新機能

```

void a()
{
    f() ;
}

// b.cpp

// OK、inline 関数
inline void f() { }

void b()
{
    f() ;
}

```

例として同一 `inline` 関数を直接記述、`inline` 関数を定義の同一性を保証、通常 `#include` を使。

3.21.3 `inline` 変数の意味

`inline` 変数、ODR 違反で変数を定義重複を認。同名 `inline` 変数同変数を指。

```

// a.cpp

inline int data ;

void a() { ++data ; }

// b.cpp

inline int data ;

void b() { ++data ; }

// main.cpp

inline int data ;

int main()
{

```

```

    a() ;
    b() ;

    data ; // 2
}

```

例関数 `a`, `b` 中変数 `data` 同変数指。変数 `data` `static` 上構築変数開始時初期化。2 回値 2 。

、非 `static` 定義書。

C++17 以前 C++ 、以下書、

```

// S.h

struct S
{
    static int data ;
} ;

// S.cpp

int S::data ;

```

C++17 、以下書。

```

// S.h

struct S
{
    inline static int data ;
} ;

```

`S.cpp` 変数 `S::data` 定義書必要。

機能 `__cpp_inline_variables`, 値 201606。

3.22 可変長 using 宣言

機能超上級者向。

C++17 `using` 宣言区切。

第 3 章 C++17 新言語新機能

```
int x, y ;

int main()
{
    using ::x, ::y ;
}
```

名前空間、C++14

```
using ::x ;
using ::y ;
```

本書等。

C++17 名前空間、using 宣言展開。機能正式名前付、可変長 using 宣言 (Variadic using declaration) 呼。

```
template < typename ... Types >
struct S : Types ...
{
    using Types::operator() ... ;
    void operator () ( long ) { }
} ;

struct A
{
    void operator () ( int ) { }
} ;

struct B
{
    void operator () ( double ) { }
} ;

int main()
{
    S<A, B> s ;
    s(0) ; // A::operator()
    s(0L) ; // S::operator()
    s(0.0) ; // B::operator()
}
```


機能 `__cpp_variadic_using`, 値 201611。

3.23 `std::byte` : バイトを表現する型

C++17 型、表現型入。言語特別型扱。

C++ 単位、C++ 付与最小単位。C++ 規格 1 具体的何規定。過去 8 存在。

数 `<climits>` 定義、`CHAR_BIT` 知。

C++17 型、1 UTF-8 8 1 単位表現規定。

`std::byte` 型、生列表現型使用。生 1 表 `unsigned char` 型慣習の使用、`std::byte` 型生 1 表現型、新 C++17 追加。複数連続、`unsigned char` 配列型、`std::byte` 配列型表現。

`std::byte` 型、`<cstdint>` 以下定義。

```
namespace std
{
    enum class byte : unsigned char { } ;
}
```

`std::byte` 型 `scoped enum` 型定義。、他整数型暗黙型変換行。

値 0x12 `std::byte` 型変数以下定義。

```
int main()
{
    std::byte b{0x12} ;
}
```

`std::byte` 型値場合、以下書。

```
int main()
{
```

第3章 C++17 新言語新機能

```

std::byte b{} ;

b = std::byte( 1 ) ;
b = std::byte{ 1 } ;
b = static_cast< std::byte >( 1 ) ;
b = static_cast< std::byte >( 0b11110000 ) ;
}

```

std::byte 型は他数値型と同様の暗黙型変換がある。同様の型
 間取違ひは型同様の型演算と同様の防範がある。

```

int main()
{
    // 同様の、() 同様の初期化 int 型同様の暗黙型変換入
    std::byte b1(1) ;

    // 同様の、=同様の初期化 int 型同様の暗黙型変換入
    std::byte b2 = 1 ;

    std::byte b{} ;

    // 同様の、operator =同様の int 型代入同様の暗黙型変換入
    b = 1 ;
    // 同様の、operator =同様の double 型代入同様の暗黙型変換入
    b = 1.0 ;
}

```

std::byte 型 {} 同様の初期化同様の、縮小変換禁止同様の、
 std::byte 型表現同様の値範囲同様の。

同様の、今 std::byte は 8 同様の、最小値 0、最大値 255 環境同様の。

```

int main()
{
    // 同様の、表現同様の値範囲同様の
    std::byte b1{-1} ;
    // 同様の、表現同様の値範囲同様の
    std::byte b2{256} ;
}

```

std::byte は内部同様の単位同様の、規
 格上 char と同様の配慮行同様の。

3.23 `std::byte` : 表現型

```
int main()
{
    int x = 42 ;

    std::byte * rep = reinterpret_cast< std::byte * >(&x) ;
}
```

`std::byte` 一部演算子、通常整数型、使用。、列演算使用一部演算子。

具体的、以下示 OR, 列 AND, 列 XOR, 列 NOT。

```
<<= <<
>>= >>
|= |
&= &
^= ^
~
```

四則演算演算子。

`std::byte` `std::to_integer<IntType>(std::byte)`、`IntType` 型整数型変換。

```
int main()
{
    std::byte b{42} ;

    // int 型値 42
    auto i = std::to_integer<int>(b) ;
}
```



第4章

C++17 の型安全な値を格納するライブラリ

C++17 の型安全な値を格納するライブラリ、`variant`、`any`、`optional` を追加する。

4.1 `variant` : 型安全な union

4.1.1 使い方

ライブラリ `<variant>` を定義する `variant` の、型安全な union を使用する。

```
#include <variant>

int main()
{
    using namespace std::literals ;

    // int, double, std::string を格納する variant
    // 最初型を構築
    std::variant< int, double, std::string > x ;

    x = 0 ;           // int を代入
    x = 0.0 ;         // double を代入
    x = "hello"s ;    // std::string を代入

    // int が入っているか確認
    // false を返す
    bool has_int = std::holds_alternative<int>( x ) ;
    // std::string が入っているか確認
```

第4章 C++17 型安全値格納

```

// true 返
bool has_string = std::holds_alternative<std::string>( x );

// 入値得
// "hello"
std::string str = std::get<std::string>(x) ;
}

```

4.1.2 型非安全な古典的 union

C++ 従来保持古典的 union、複数型 1 値格納型。union 型 1 表現。

```

union U
{
    int i ;
    double d ;
    std::string s ;
};

struct S
{
    int i ;
    double d ;
    std::string s ;
}

```

場合、sizeof(U)

```

sizeof(U) = max{sizeof(int),sizeof(double),sizeof(std::string)}
+

```

。 sizeof(S)

```

sizeof(S) = sizeof(int) + sizeof(double) + sizeof(std::string)
+

```

。

union 効率。 union variant 違型非安全。型値保持情報保持、適切管理。

試、冒頭 union 書、以下。

```
union U
{
    int i ;
    double d ;
    std::string s ;

    // 编译选项
    // int 型初始化
    U() : i{} { }
    // 编译选项
    // 何。 破棄責任任
    ~U() { }
};

// 呼出
template < typename T >
void destruct ( T & x )
{
    x.~T() ;
}

int main()
{
    U u ;

    // 基本型代入
    // 破棄考
    u.i = 0 ;
    u.d = 0.0 ;

    // 非 持型
    // placement new 必要
    new(&u.s) std::string("hello") ;

    // 型入別管理必要
    bool has_int = false ;
    bool has_string = true ;

    std::cout << u.s << '\n' ;

    // 非 持型
```

第 4 章 C++17 型安全値格納

```
// 破棄必要
destruct( u.s );
}
```

型安全値格納。variant を使、面倒冗長型安全 union 同等機能実現。

4.1.3 variant の宣言

variant 実引数保持型。

```
std::variant< char, short, int, long > v1 ;
std::variant< int, double, std::string > v2 ;
std::variant< std::vector<int>, std::list<int> > v3 ;
```

4.1.4 variant の初期化

初期化

variant 構築、最初与型値構築保持。

```
// int
std::variant< int, double > v1 ;
// double
std::variant< double, int > v2 ;
```

variant 構築型最初与、variant 構築。

```
// 構築型
struct non_default_constructible
{
    non_default_constructible() = delete ;
};

//
// 構築
std::variant< non_default_constructible > v ;
```

構築型保持 variant 構築、最初型構築可能型。

```
struct A { A() = delete ; } ;
```


4.1 variant : 型安全 union

```

struct B { B() = delete ; } ;
struct C { C() = delete ; } ;

struct Empty { } ;

int main()
{
    // OK、Empty を保持
    std::variant< Empty, A, B, C > v ;
}

```

この場合、Empty は独自に定義し面倒くさい、標準ライブラリ std::monostate を以下に定義する。

```

namespace std {
    struct monostate { } ;
}

```

上例以下に書く。

```

// OK、std::monostate を保持
std::variant< std::monostate, A, B, C > v ;

```

std::monostate を variant の最初の実引数に使用すると variant の構築可能型型。この意味で。

初期化

variant の同型 variant を渡す、例/。

```

int main()
{
    std::variant<int> a ;
    // 
    std::variant<int> b ( a ) ;
}

```

variant の値渡し場合

variant は上記以外に値渡しの場合、variant の実引数に指定した型中、解決する最適型選択、型値変換、値保持。

第 4 章 C++17 型安全値格納

```
using val = std::variant< int, double, std::string > ;

int main()
{
    // int
    val a(42) ;
    // double
    val b( 0.0 ) ;

    // std::string
    // char const *型 std::string 型変換
    val c("hello") ;

    // int
    // char 型 Integral promotion int 型優先の変換
    val d( 'a' ) ;
}
```

in_place_type **emplace** 構築

`variant` の第一引数 `std::in_place_type<T>` を渡す、`T` 型要素構築 `T` 型を渡す実引数指定。

型。

```
struct X
{
    X( int, int, int ) { }
```

```
int main()
{
    // X 構築
    X x( a, b, c ) ;
    // x
    std::variant<X> v( x ) ;
}
```

、型 `X` 型、上記型、動。

```
struct X
```


`std::in_place_type<T>` 使用。T 構築型指定第一引数、第二引数以降 T 渡値。

variant 保持、保持值適切破棄。

第4章 C++17 型安全値格納

```

std::variant<
    std::vector<int>,
    std::list<int>,
    std::deque<int>
> val ;

val = v ;
val = l ;
val = d ;

// variant 破棄 deque<int> 破棄
}

```

variant 何必要。

4.1.6 variant の代入

variant 代入自然。variant 渡、値渡
解決従適切型値保持。

4.1.7 variant の emplace

variant emplace 構築。variant 場合、構築型知
必要、emplace<T> T 構築型指定。

```

struct X
{
    X( int, int, int ) { }
    X( X const & ) = delete ;
    X( X && ) = delete ;
} ;

int main()
{
    std::variant<std::monostate, X, std::string> v ;

    // X 構築
    v.emplace<X>( 1, 2, 3 ) ;
    // std::string 構築
    v.emplace< std::string >( "hello" ) ;
}

```

4.1.8 variant に値が入っているかどうかの確認

valueless_by_exception 関数

`constexpr bool valueless_by_exception() const noexcept;`

`valueless_by_exception` 関数、`variant` 値保持の場合、`false` 返す。

```
void f( std::variant<int> & v )
{
    if ( v.valueless_by_exception() )
    { // true
        // v 値保持
    }
    else
    { // false
        // v 値保持
    }
}
```

`variant` 値保持状態。、`std::string` 動的確保行。 `variant` `std::string` 際、動的確保失敗場合、失敗。、`variant` 別型値構築前、以前値破棄。 `variant` 値持状態。

```
int main()
{
    std::variant< int, std::string > v ;
    try {
        std::string s("hello") ;
        v = s ; // 動的確保発生
    } catch( std::bad_alloc e )
    {
        // 動的確保失敗
    }

    // 動的確保失敗
    // true
```

第4章 C++17 型安全値格納

```
    bool b = v.valueless_by_exception() ;
}
```

index 関数

```
constexpr size_t index() const noexcept;
```

index 関数、variant 指定実引数、現在 variant 保持値型 0 返す。

```
int main()
{
    std::variant< int, double, std::string > v ;

    auto v0 = v.index() ; // 0
    v = 0.0 ;
    auto v1 = v.index() ; // 1
    v = "hello" ;
    auto v2 = v.index() ; // 2
}
```

variant 値保持場合、valueless_by_exception() true 返す場合、std::variant_npos 返す。

```
// variant 値保持確認関数
template < typename ... Types >
void has_value( std::variant< Types ... > && v )
{
    return v.index() != std::variant_npos ;

    // 確認
    // return v.valueless_by_exception() == false ;
}
```

std::variant_npos 値 -1。

4.1.9 swap

variant swap 対応。

```
int main()
{
    std::variant<int> a, b ;
```

```

        a.swap(b) ;
        std::swap( a, b ) ;
    }

```

4.1.10 variant_size<T> : variant が保持できる型の数を取得

std::variant_size<T>、T variant 型へ渡す、variant が保持する型数を返す。

```

using t1 = std::variant<char> ;
using t2 = std::variant<char, short> ;
using t3 = std::variant<char, short, int> ;

// 1
constexpr std::size_t t1_size = std::variant_size<t1>::size ;
// 2
constexpr std::size_t t2_size = std::variant_size<t2>::size ;
// 3
constexpr std::size_t t3_size = std::variant_size<t3>::size ;

```

variant_size integral_constant 基本型保持、型数構築の結果を定義変換値で取り出す。

```

using type = std::variant<char, short, int> ;

constexpr std::size_t size = std::variant_size<type>{} ;

variant_size 以下変数を用意。

template <class T>
    inline constexpr size_t variant_size_v = variant_size<T>::value;

使用、以下書き。

using type = std::variant<char, short, int> ;

constexpr std::size_t size = std::variant_size_v<type> ;

```

第4章 C++17 型安全値格納

4.1.11 `variant_alternative<I, T>` : インデックスから型を返す

`std::variant_alternative<I, T>` は T 型 variant が保持している型、I 番目の型 type の型名 type を返す。

```
using type = std::variant< char, short, int > ;
```

```
// char
```

```
using t0 = std::variant_alternative< 0, type >::type ;
```

```
// short
```

```
using t1 = std::variant_alternative< 1, type >::type ;
```

```
// int
```

```
using t2 = std::variant_alternative< 2, type >::type ;
```

`variant_alternative_t` は以下のように定義されている。

```
template <size_t I, class T>
```

```
using variant_alternative_t
```

```
= typename variant_alternative<I, T>::type ;
```

使用例、以下のように書く。

```
using type = std::variant< char, short, int > ;
```

```
// char
```

```
using t0 = std::variant_alternative_t< 0, type > ;
```

```
// short
```

```
using t1 = std::variant_alternative_t< 1, type > ;
```

```
// int
```

```
using t2 = std::variant_alternative_t< 2, type > ;
```

4.1.12 `holds_alternative` : `variant` が指定した型の値を保持しているかどうかの確認

`holds_alternative<T>(v)` は、variant v が T 型値を保持しているかどうかを確認する。保持している場合は `true`、そうでない場合は `false` を返す。

```
int main()
```

```
{
```

```
    // int 型値構築
```

```
    std::variant< int, double > v ;
```


4.1 variant : 型安全 union

```

// true
bool has_int = std::holds_alternative<int>(v) ;
// false
bool has_double = std::holds_alternative<double>(v) ;
}

```

型 T の実引数と variant が保持する型は互いに排他的である。以下は

```

int main()
{
    std::variant< int > v ;

    // 変換
    std::holds_alternative<double>(v) ;
}

```

4.1.13 get<I>(v) : インデックスから値の取得

get<I>(v) は、variant v の型が I 番目の型に一致するかどうかを返す。一致しない場合は 0 を返す。

```

int main()
{
    // 0: int
    // 1: double
    // 2: std::string
    std::variant< int, double, std::string > v(42) ;

    // int, 42
    auto a = std::get<0>(v) ;

    v = 3.14 ;
    // double, 3.14
    auto b = std::get<1>(v) ;

    v = "hello" ;
    // std::string, "hello"
    auto c = std::get<2>(v) ;
}

```

第 4 章 C++17 型安全値格納

I 範囲を超え。

```
int main()
{
    // 0, 1, 2
    std::variant< int, double, std::string > v ;

    // 、範囲外
    std::get<3>(v) ;
}
```

、variant 値保持場合、`v.index() != I` 場合、`std::bad_variant_access` throw。

```
int main()
{
    // int 型値保持
    std::variant< int, double > v( 42 ) ;

    try {
        // double 型値要求
        auto d = std::get<1>(v) ;
    } catch ( std::bad_variant_access & e )
    {
        // double 保持
    }
}
```

`get` 実引数渡 variant lvalue 場合、戻値 lvalue、rvalue 場合戻値 rvalue。

```
int main()
{
    std::variant< int > v ;

    // int &
    decltype(auto) a = std::get<0>(v) ;
    // int &&
    decltype(auto) b = std::get<0>( std::move(v) ) ;
}
```

4.1 variant : 型安全 union

get 実引数渡 variant CV 修飾の場合、戻値型実引数同 CV 修飾。

```
int main()
{
    std::variant< int > const cv ;
    std::variant< int > volatile vv ;
    std::variant< int > const volatile cvv ;

    // int const &
    decltype(auto) a = std::get<0>( cv ) ;
    // int volatile &
    decltype(auto) b = std::get<0>( vv ) ;
    // int const volatile &
    decltype(auto) c = std::get<0>( cvv ) ;
}
```

4.1.14 get<T>(v) : 型から値の取得

get<T>(v) 、variant v 保有型 T 値返。型 T 値保持場合、std::bad_variant_access throw 。

```
int main()
{
    std::variant< int, double, std::string > v( 42 ) ;

    // int
    auto a = std::get<int>( v ) ;

    v = 3.14 ;
    // double
    auto b = std::get<double>( v ) ;

    v = "hello" ;
    // std::string
    auto c = std::get<std::string>( v ) ;
}
```

他 get<I> 同。

第4章 C++17 型安全値格納

4.1.15 `get_if` : 値を保持している場合に取得

`get_if<I>(vp)` は `get_if<T>(vp)` の、`variant` の `vp` 実引数取、`*vp` の型 `I`、型 `T` の値保持の場合、値を返す。

```
int main()
{
    std::variant< int, double, std::string > v( 42 );

    // int *
    auto a = std::get_if<int>( &v );

    v = 3.14 ;
    // double *
    auto b = std::get_if<d>( &v );

    v = "hello" ;
    // std::string
    auto c = std::get_if<2>( &v );
}
```

、`vp` が `nullptr` の場合、`*vp` が指定の値保持の場合、`nullptr` を返す。

```
int main()
{
    // int 型の値保持
    std::variant< int, double > v( 42 );

    // nullptr
    auto a = std::get_if<int>( nullptr );

    // nullptr
    auto a = std::get_if<double>( &v );
}
```


第4章 C++17 强类型安全枚举值格納

```

        return false ;
    else if ( v.valueless_by_exception() )
        return true ;
    else
        return std::visit(
            []( auto && a, auto && b ){ return a == b ; },
            v, w ) ;
}

```

operator != 逆参照考。

大小比較

variant 的大小比較、variant 実引数与型自身比較可能。

operator < 場合、variant v, w 対、式 get<i>(v) < get<i>(w) 対 i 対妥当。

variant v, w 大小比較、v < w 場合、以下行。

1. w.valueless_by_exception() 対、false
2. 以外場合、v.valueless_by_exception() 対、true
3. 以外場合、v.index() < w.index() 対、true
4. 以外場合、v.index() > w.index() 対、false
5. 以外場合、get<i>(v) < get<i>(w)。 対 i 対 v.index()

variant 最小。最小。同型値、値同比較。

```

int main()
{
    std::variant< int, double > a(0), b(0) ;

    // false
    // 同型同値比較
    a < b ;

    a = 1.0 ;

    // false
    // 比較
    a < b ;
    // true

```

```

        // 変数aと変数bの比較
        b < a ;
    }

```

operator < 以下同様に実装する。

```

template <class... Types>
constexpr bool
operator<(const variant<Types...>& v, const variant<Types...>& w)
{
    if ( w.valueless_by_exception() )
        return false ;
    else if ( v.valueless_by_exception() )
        return true ;
    else if ( v.index() < w.index() )
        return true ;
    else if ( v.index() > w.index() )
        return false ;
    else
        return std::visit(
            []( auto && a, auto && b ){ return a < b ; },
            v, w ) ;
}

```

残りの大小比較も同様に実装する。

4.1.17 visit : variant が保持している値を受け取る

std::visit、variant が保持している型の実引数関数関数を呼び出す。

```

int main()
{
    using val = std::variant<int, double> ;

    val v(42) ;
    val w(3.14) ;

    auto visitor = []( auto a, auto b )
        { std::cout << a << b << '\n' ; } ;

    // visitor( 42, 3.14 ) を呼ぶ
    std::visit( visitor, v, w ) ;
}

```

第4章 C++17 型安全値格納

```
// visitor( 3.14, 42 ) を呼ぶ
std::visit( visitor, w, v );
}
```

、`variant` の型値を保持する。また、`std::visit` は以下のように宣言される。

```
template < class Visitor, class... Variants >
constexpr auto visit( Visitor&& vis, Variants&&... vars );
```

第一引数は関数、第二引数以降は `variant` の変数、`vis(get<i>(vars)...)` を呼ぶ。

```
int main()
{
    std::variant<int> a(1), b(2), c(3) ;

    // ( 1 )
    std::visit( []( auto x ) {}, a );

    // ( 1, 2, 3 )
    std::visit( []( auto x, auto y, auto z ) {}, a, b, c );
}
```

4.2 any : どんな型の値でも保持できるクラス

4.2.1 使い方

`<any>` は定義された `std::any`、任意型の値を保持する。

```
#include <any>

int main()
{
    std::any a ;

    a = 0 ; // int
    a = 1.0 ; // double
    a = "hello" ; // char const *
```


4.2 any : 型値保持

```

std::vector<int> v ;
a = v ; // std::vector<int>

// 保持 std::vector<int>
auto value = std::any_cast< std::vector<int> >( a ) ;
}

```

any 保持型、構築型。

4.2.2 any の構築と破棄

any 型宣言。宣言単純。

```

int main()
{
    // 値保持
    std::any a ;
    // int 型値保持
    std::any b( 0 ) ;
    // double 型値保持
    std::any c( 0.0 ) ;
}

```

any 保持型事前指定必要。

any 破棄、保持値適切破棄。

4.2.3 in_place_type コンストラクター

any 型構築 in_place_type 使用。

```

struct X
{
    X( int, int ) { }
} ;

int main()
{
    // 型 X X(1, 2) 構築結果値保持
    std::any a( std::in_place_type<X>, 1, 2 ) ;
}

```

第 4 章 C++17 型安全値格納

4.2.4 any への代入

any へ代入は普通期待通り動く。

```
int main()
{
    std::any a ;
    std::any b ;

    // a へ int 型値 42 を保持
    a = 42 ;
    // b へ int 型値 42 を保持
    b = a ;
}
```

4.2.5 any のメンバー関数

emplace

```
template <class T, class... Args>
decay_t<T>& emplace(Args&&... args);
```

any へ emplace は関数関数。

```
struct X
{
    X( int, int ) { }
};

int main()
{
    std::any a ;

    // 型 X へ X(1, 2) を構築し結果値を保持
    a.emplace<X>( 1, 2 ) ;
}
```

reset : 値の破棄

```
void reset() noexcept ;
```

4.2 any : 任意型値を保持するコンテナ

any は reset 関数、any は保持する値を破棄。reset を呼出後 any は値を保持。

```
int main()
{
    // a 値を保持
    std::any a ;
    // a int 型値を保持
    a = 0 ;

    // a 値を保持
    a.reset() ;
}
```

swap : 交換

any は swap 関数。

```
int main()
{
    std::any a(0) ;
    std::any b(0.0) ;

    // a int 型値を保持
    // b double 型値を保持

    a.swap(b) ;

    // a double 型値を保持
    // b int 型値を保持
}
```

has_value : 値を保持しているかどうかを調べる

```
bool has_value() const noexcept;
```

any は has_value 関数 any は値を保持しているかどうかを調べる。値を保持している場合は true、保持していない場合は false を返す。

```
int main()
{
    std::any a ;
```

第4章 C++17 型安全値格納

```

// false
bool b1 = a.has_value() ;

a = 0 ;
// true
bool b2 = a.has_value() ;

a.reset() ;
// false
bool b3 = a.has_value() ;
}

```

type : 保持型 **type_info** 得

```
const type_info& type() const noexcept;
```

type 関数、保持型 **T** **typeid(T)** 返。値保持場合、**typeid(void)** 返。

```

int main()
{
    std::any a ;

    // typeid(void)
    auto & t1 = a.type() ;

    a = 0 ;
    // typeid(int)
    auto & t2 = a.type() ;

    a = 0.0 ;
    // typeid(double)
    auto & t3 = a.type() ;
}

```

4.2.6 any のフリー関数

make_any<T> : **T** 型 **any** 作

```
template <class T, class... Args>
```

4.2 any : 任意型値を保持する

```
any make_any(Args&& ...args);

template <class T, class U, class... Args>
any make_any(initializer_list<U> il, Args&& ...args);
```

make_any<T>(args...) は T 型の実引数 args... を構築し、その値を保持する any を返す。

```
struct X
{
    X( int, int ) { }
};

int main()
{
    // int 型値を保持する any
    auto a = std::make_any<int>( 0 );
    // double 型値を保持する any
    auto b = std::make_any<double>( 0.0 );

    // X 型値を保持する any
    auto c = std::make_any<X>( 1, 2 );
}
```

any_cast : 保持する値を取り出す

```
template<class T> T any_cast(const any& operand);
template<class T> T any_cast(any& operand);
template<class T> T any_cast(any&& operand);
```

any_cast<T>(operand) は operand を保持する値を返す。

```
int main()
{
    std::any a(0);

    int value = std::any_cast<int>(a);
}
```

any_cast<T> は指定した T 型、any を保持する型の場合、std::bad_any_cast を throw する。

```
int main()
```

第4章 C++17 型安全値の格納

```

{
    try {
        std::any a ;
        std::any_cast<int>(a) ;
    } catch( std::bad_any_cast e )
    {
        // 型保持
    }
}

```

```

template<class T>
const T* any_cast(const any* operand) noexcept;
template<class T>
T* any_cast(any* operand) noexcept;

```

`any_cast<T>` は `any` を `T` 型にキャストし、`T` 型にキャスト可能な型を返す。 `any` は `T` 型を保持する場合 `T` 型の参照を返す。保持する場合、`nullptr` を返す。

```

int main()
{
    std::any a(42) ;

    // int 型の値を参照
    int * p1 = std::any_cast<int>( &a ) ;

    // nullptr
    double * p2 = std::any_cast<double>( &a ) ;
}

```

4.3 optional : 値を保有しているか、していないクラス

4.3.1 使い方

`<optional>` は `optional<T>` を、`T` 型の値を保有しているか、保有していないかを表す。

条件次第に値を用意する場合に存在する。割算の結果値を返す関数を考える。

4.3 optional : 値を保有、意図的に空

```
int divide( int a, int b )
{
    if ( b == 0 )
    {
        // 例外処理
    }
    else
        return a / b ;
}
```

整数除算、b の値が 0 の場合、関数の値を用意しない。問題点、int 型は通常除算結果を使用、例外を示す特別な値を返さない。

例外の場合、通知する方法、過去の方法を参考。例外、実引数を受け取り、変数を使用する方法、例外。

optional は値を用意しない場合、共通の方法を提供。

```
std::optional<int> divide( int a, int b )
{
    if ( b == 0 )
        return {} ;
    else
        return { a / b } ;
}

int main()
{
    auto result = divide( 10, 2 ) ;
    // 値取得
    auto value = result.value() ;

    // 除算
    auto fail = divide( 10, 0 ) ;

    // false、値保持
    bool has_value = fail.has_value() ;

    // throw bad_optional_access
    auto get_value_anyway = fail.value() ;
}
```

第 4 章 C++17 型安全値格納

4.3.2 optional のテンプレート実引数

`optional<T>` は `T` 型値保持、状態保持状態取。

```
int main()
{
    // int 型値保持 optional
    using a = std::optional<int> ;
    // double 型値保持 optional
    using b = std::optional<double> ;
}
```

4.3.3 optional の構築

`optional` 構築、値保持 `optional`。

```
int main()
{
    // 値保持
    std::optional<int> a ;
}
```

実引数 `std::nullopt` 渡、値保持 `optional`。

```
int main()
{
    // 値保持
    std::optional<int> a( std::nullopt ) ;
}
```

`optional<T>` 実引数 `T` 型変換型渡し、`T` 型値型変換保持。

```
int main()
{
    // int 型値 42 保持
    std::optional<int> a(42) ;

    // double 型値 1.0 保持
    std::optional<double> b( 1.0 ) ;
}
```


4.3 optional : 値を保有する型、空の型

```
// int から double へ型変換を行う
// int 型値 1 を保持
std::optional<int> c ( 1.0 );
}
```

T 型から U 型へ型変換を行う、`optional<T>` から `optional<U>` へ渡す U から T へ型変換を行う T 型値を保持する `optional`。

```
int main()
{
    // int 型値 42 を保持
    std::optional<int> a( 42 );

    // long 型値 42 を保持
    std::optional<long> b ( a );
}
```

`optional` の第一引数 `std::in_place_type<T>` を渡す、後続引数で T 型を `emplace` 構築する。

```
struct X
{
    X( int, int ) { }
};

int main()
{
    // X(1, 2)
    std::optional<X> o( std::in_place_type<X>, 1, 2 );
}
```

4.3.4 optional の代入

通常 `optional` の期待する挙動は `std::nullopt` を代入する値を保持する `optional`。

4.3.5 optional の破棄

`optional` の破棄、保持する値の破棄、適切に破棄する。

```
struct X
```

第4章 C++17 型安全値格納

```

{
    ~X() { }
};

int main()
{
    {
        // 値保持
        std::optional<X> o ( X{} );
        // X の呼出し
    }

    {
        // 値保持
        std::optional<X> o ;
        // X の呼出し
    }
}

```

4.3.6 swap

optional の swap に対応。

```

int main()
{
    std::optional<int> a(1), b(2) ;

    a.swap(b) ;
}

```

4.3.7 has_value : 値を保持しているかどうか確認する

```
constexpr bool has_value() const noexcept;
```

has_value 関数 optional の値保持の場合、true を返す。

```

int main()
{
    std::optional<int> a ;
    // false
    bool b1 = a.has_value() ;
}

```

4.3 optional : 値を保有しているかどうかを確認する

```
std::optional<int> b(42) ;
// true
bool b2 = b.has_value() ;
}
```

4.3.8 operator bool : 値を保持しているかどうかを確認する

```
constexpr explicit operator bool() const noexcept;
```

optional の文脈上 bool へ変換する場合 true 評価。

```
int main()
{
    std::optional<bool> a = some_function();
    // OK、文脈上 bool へ変換
    if ( a )
    {
        // 値を保持
    }
    else
    {
        // 値を不保持
    }

    // 、暗黙型変換を行う
    bool b1 = a ;
    // OK、明示的型変換
    bool b2 = static_cast<bool>(a) ;
}
```

4.3.9 value : 保持している値を取得

```
constexpr const T& value() const&;
constexpr T& value() &;
constexpr T&& value() &&;
constexpr const T&& value() const&&;
```

value 関数 optional の値を保持している場合、値を取得する。

第4章 C++17 型安全値格納

返す。値保持の場合、`std::bad_optional_access` を throw する。

```
int main()
{
    std::optional<int> a(42) ;

    // OK
    int x = a.value () ;

    try {
        std::optional<int> b ;
        int y = b.value() ;
    } catch( std::bad_optional_access e )
    {
        // 値保持の場合
    }
}
```

4.3.10 `value_or` : 値もしくはデフォルト値を返す

```
template <class U> constexpr T value_or(U&& v) const& ;
template <class U> constexpr T value_or(U&& v) && ;
```

`value_or(v)` は関数、`optional` 値保持の場合値、保持している場合 `v` を返す。

```
int main()
{
    std::optional<int> a( 42 ) ;

    // 42
    int x = a.value_or(0) ;

    std::optional<int> b ;

    // 0
    int x = b.value_or(0) ;
}
```

4.3 optional : 値の保有、状態の保持

4.3.11 reset : 保持している値を破棄する

reset 関数は関数を呼出した後、保持している値の場合破棄する。reset 関数を呼出した後 optional の値の保持状態は false になる。

```
int main()
{
    std::optional<int> a( 42 );

    // true
    bool b1 = a.has_value() ;

    a.reset() ;

    // false
    bool b2 = a.has_value() ;
}
```

4.3.12 optional 同士の比較

optional<T> の比較は、T 型の同士の比較と同様に必要となる。

同一性の比較

値の保持する 2 つの optional を等しい。片方の値の保持する optional と等しい。両方の値の保持する optional の値を比較する。

```
int main()
{
    std::optional<int> a, b ;

    // true
    // 両方の値の保持する optional
    bool b1 = a == b ;

    a = 0 ;

    // false
    // a の値の保持
    bool b2 = a == b ;
}
```

大小比較

☒ ☒ ☒ ☐

4.3 optional : 値保持、参照保持

4.3.13 optional と std::nullopt との比較

optional と std::nullopt を比較、std::nullopt が値を持つ場合 optional が抜ける。

4.3.14 optional<T> と T の比較

optional<T> と T 型を比較、optional<t> が値を持つ場合 false を返す。以外の場合、optional が保持する値と T を比較。

```
int main()
{
    std::optional<int> o(1) ;

    // true
    bool b1 = ( o == 1 ) ;
    // false
    bool b2 = ( o == 0 ) ;

    // o が値を持つ
    o.reset() ;

    // T が値を持つ場合 false
    // false
    bool b3 = ( o == 1 ) ;
    // false
    bool b4 = ( o == 0 ) ;
}
```

4.3.15 make_optional<T> : optional<T> を返す

```
template <class T>
constexpr optional<decay_t<T>> make_optional(T&& v);

make_optional<T>(T t) は optional<T>(t) を返す。
```

```
int main()
{
    // std::optional<int>、値 0
    auto o1 = std::make_optional( 0 ) ;
```

第4章 C++17 型安全値格納

```
// std::optional<double>、値 0.0  
auto o2 = std::make_optional( 0.0 );  
}
```

4.3.16 make_optional<T, Args ...> : optional<T> を in_place_type 構築して返す

make_optional 第一引数 T 型の場合、in_place_type 構築関数を選択。

```
struct X  
{  
    X( int, int ) { }  
};  
  
int main()  
{  
    // std::optional<X>( std::in_place_type<X>, 1, 2 )  
    auto o = std::make_optional<X>( 1, 2 );  
}
```


第5章

string_view : 文字列ラッパー

string_view 型、文字型 (char, wchar_t, char16_t, char32_t) 型連続型配列表現型文字列型対共通文字列型提供型。文字列所有型。

5.1 使い方

連続型文字型配列使用文字列表現方法型型型型型。C++ 型最型基本的文字列表現方法型、null 終端型文字型配列型。

```
char str[6] = { 'h', 'e', 'l', 'l', 'o', '\0' } ;
```

型、文字型配列文字数表現型型型型。

```
// size 文字数
std::size_t size
char * ptr ;
```

型表現型型型管理型面倒型、型包型型型。

```
class string_type
{
    std::size_t size ;
    char *ptr
};
```

型文字列表現方法型型型型。型型型型型対応型型型、表現数型関数型型型型型追加型型型型型。

```
// null 終端文字列用
void process_string( char * ptr ) ;
// 配列型型型型文字数
```

第5章 string_view : 文字列

```

void process_string( char * ptr, std::size_t size ) ;
// std::string
void process_string( std::string s ) ;
// 自作 string_type
void process_string( string_type s ) ;
// 自作 my_string_type
void process_string( my_string_type s ) ;

```

string_view は文字列に対する共通 view を提供し、問題解決に役立つ。関数に大量の追加が必要。

```

// 自作 string_type
struct string_type
{
    std::size_t size ;
    char * ptr ;

    // string_view 対応変換関数
    operator std::string_view() const noexcept
    {
        return std::string_view( ptr, size ) ;
    }
}

```

```

// 1
void process_string( std::string_view s ) ;

```

```

int main()
{
    // OK
    process_string( "hello" ) ;
    // OK
    process_string( { "hello", 5 } ) ;

    std::string str( "hello" ) ;
    process_string( str ) ;

    string_type st{5, "hello"} ;

    process_string( st ) ;
}

```

5.2 basic_string_view

std::string は std::basic_string< CharT, Traits > に対して std::basic_string<char>、std::string_view、std::basic_string_view 特殊化の typedef 名。

```
// 本体
template<class charT, class traits = char_traits<charT>>
class basic_string_view ;

// 文字型 typedef 名
using string_view = basic_string_view<char>;
using u16string_view = basic_string_view<char16_t>;
using u32string_view = basic_string_view<char32_t>;
using wstring_view = basic_string_view<wchar_t>;
```

通常 basic_string_view、string_view、u16string_view、u32string_view、wstring_view の typedef 名を使用する。本書 string_view の解説、他の typedef 名文字型は違っても同様に。

5.3 文字列の所有、非所有

string_view は文字列の非所有型。所有型、文字列の表現型、確保破棄責任保持型。所有型意味説明、文字列の非所有型説明。

std::string は文字列の所有型。std::string 風実装、以下。

```
class string
{
    std::size_t size ;
    char * ptr ;

public :
    // 文字列表現型の動的確保
    string ( char const * str )
    {
        size = std::strlen( str ) ;
```

第 5 章 string_view : 文字列の管理

```

        ptr = new char[size+1] ;
        std::strcpy( ptr, str ) ;
    }

    // 文字列
    // 別文字列の動的確保
    string ( string const & r )
        : size( r.size ), ptr ( new char[size+1] )
    {
        std::strcpy( ptr, r.ptr ) ;
    }

    // 文字列
    // 所有権の移動
    string ( string && r )
        : size( r.size ), ptr( r.ptr )
    {
        r.size = 0 ;
        r.ptr = nullptr ;
    }

    // 破棄
    // 動的確保の解放
    ~string()
    {
        delete[] ptr ;
    }

};

std::string 文字列の表現、動的確保、所有。別文字列の動的確保。文字列の所有権の移動。文字列の所有権の破棄。

std::string_view 文字列の所有。std::string_view 風の実装、以下の通り。

class string_view
{
    std::size_t size ;
    char const * ptr ;

```

```

public :

    // 所有
    // str を参照先寿命と呼出側責任持
    string_view( char const * str ) noexcept
        : size( std::strlen(str) ), ptr( str )
    { }

    //
    // 初期化 default 化
    string_view( string_view const & r ) noexcept = default ;

    // 破棄
    // 何解放
    //
} ;

string_view 渡連続文字型配列寿命、渡側
責任持。、以下間違。

std::string_view get_string()
{
    char str[] = "hello" ;

    //
    // str 寿命関数呼出元戻時点尽
    return str ;
}

```

5.4 string_view の構築

string_view の構築は 4 種類。

- の構築
- null 終端文字型配列
- 文字型配列文字数
- 文字列変換関数

第5章 string_view : 文字列

5.4.1 デフォルト構築

```
constexpr basic_string_view() noexcept;
```

string_view の構築、空 string_view の作。

```
int main()
{
    // 空 string_view
    std::string_view s ;
}
```

5.4.2 null 終端された文字型の配列へのポインター

```
constexpr basic_string_view(const charT* str);
```

string_view の、null 終端文字型の配列へのポインターを受け取る。

```
int main()
{
    std::string_view s( "hello" );
}
```

5.4.3 文字型へのポインターと文字数

```
constexpr basic_string_view(const charT* str, size_type len);
```

string_view の、文字型配列へのポインターと文字数を受け取る。null 終端を受け取る。

```
int main()
{
    char str[] = {'h', 'e', 'l', 'l', 'o'} ;

    std::string_view s( str, 5 );
}
```

5.4.4 文字列クラスからの変換関数

他の文字列型から `string_view` を作る、変換関数を使う。 `string_view` を使う。

`std::string` から `string_view` への変換関数がある。独自の文字列型から `string_view` へ対応する変換関数を使う。以下に実装例。

```
class string
{
    std::size_t size ;
    char * ptr ;
public :
    operator std::string_view() const noexcept
    {
        return std::string_view( ptr, size ) ;
    }
};
```

、 `std::string` から `string_view` への変換が可能。

```
int main()
{
    std::string s = "hello" ;
    std::string_view sv = s ;
}
```

同方法を使う、独自の文字列型から `string_view` へ対応させる。

`std::string` から `string_view` を受け取り保持する、`string_view` から `string` への変換。

```
int main()
{
    std::string_view sv = "hello" ;

    // 変換
    std::string s = sv ;
}
```

5.5 string_view の操作

string_view は既存の標準ライブラリ string と同様の操作性を提供する。文字列の取得、operator [] で要素の取得、size() で要素数を返す、find() で検索する。

```
template < typename T >
void f( T t )
{
    for ( auto c : t )
    {
        std::cout << c ;
    }

    if ( t.size() > 3 )
    {
        auto c = t[3] ;
    }

    auto pos = t.find( "fox" ) ;
}

int main()
{
    std::string s("quick brown fox jumps over the lazy dog.") ;

    f( s ) ;

    std::string_view sv = s ;

    f( sv ) ;
}
```

string_view は文字列の所有、文字列の書き換えの方法を提供しない。

```
int main()
{
    std::string s = "hello" ;
```



```

s[0] = 'H' ;
s += ",world" ;

std::string_view sv = s ;

// 文字列
// string_view の書換
sv[0] = 'h' ;
s += ".\n" ;
}

```

string_view の文字列の所有、参照の保持。

```

int main()
{
    std::string s = "hello" ;
    std::string_view sv = s ;

    // "hello"
    std::cout << sv ;

    s = "world" ;

    // "world"
    // string_view の参照
    std::cout << sv ;
}

```

string_view の string との互換性を保持、一部文字列の変更を削除。

5.5.1 remove_prefix/remove_suffix : 先頭、末尾の要素の削除

string_view の先頭末尾の n 個要素の削除関数を提供。

```

constexpr void remove_prefix(size_type n);
constexpr void remove_suffix(size_type n);

```

string_view の先頭末尾の n 個要素の削除、削除した n 個要素、文字列の所有 string_view の行操作。

```

int main()

```

第5章 string_view : 文字列

```

{
    std::string s = "hello" ;

    std::string_view s1 = s ;

    // "lo"
    s1.remove_prefix(3) ;

    std::string_view s2 = s ;

    // "he"
    s2.remove_suffix(3) ;
}

```

関数既存 `std::string` 追加。

5.6 ユーザー定義リテラル

`std::string` `std::string_view` 定義追加。

```

string operator""s(const char* str, size_t len);
u16string operator""s(const char16_t* str, size_t len);
u32string operator""s(const char32_t* str, size_t len);
wstring operator""s(const wchar_t* str, size_t len);

constexpr string_view
operator""sv(const char* str, size_t len) noexcept;

constexpr u16string_view
operator""sv(const char16_t* str, size_t len) noexcept;

constexpr u32string_view
operator""sv(const char32_t* str, size_t len) noexcept;

constexpr wstring_view
operator""sv(const wchar_t* str, size_t len) noexcept;

```

以下使。

```

int main()
{
    using namespace std::literals ;
}

```

5.6 `string` 定义 `string_view`

```
// std::string
auto s = "hello"s ;

// std::string_view
auto sv = "hello"sv ;
}
```



第6章

メモリーリソース： 動的ストレージ確保ライブラリ

この章では、`<memory_resource>` で定義された動的ストレージ確保の C++17 の追加機能について、その特徴を以下に説明する。

- 動的ストレージ確保の新しいインターフェースの定義
- 動的ストレージ確保の振る舞い可能な動的ストレージ確保
- 標準で提供された動的ストレージ確保特性を持つ動的ストレージ確保の実装

6.1 メモリーリソース

動的ストレージ確保の新しいインターフェースは、動的ストレージ確保の解放、動的ストレージ確保の抽象化、動的ストレージ確保の挙動、動的ストレージ確保の静的な動的ストレージ確保設計、動的ストレージ確保の違、動的ストレージ確保の実行時の挙動、動的ストレージ確保の動的な動的ストレージ確保設計、動的ストレージ確保の設計。

```
void f( memory_resource * mem )
{
    // 10 動的ストレージ確保
    auto ptr = mem->allocate( 10 );
    // 確保した動的ストレージ確保解放
    mem->deallocate( ptr );
}
```

この `std::pmr::memory_resource` は宣言以下に定義されている。

```
namespace std::pmr {
```

第6章 動的メモリ確保

```

class memory_resource {
public:
    virtual ~memory_resource();
    void* allocate(size_t bytes, size_t alignment = max_align);
    void deallocate(void* p, size_t bytes,
                    size_t alignment = max_align);
    bool is_equal(const memory_resource& other) const noexcept;

private:
    virtual void* do_allocate(size_t bytes, size_t alignment) = 0;
    virtual void do_deallocate( void* p, size_t bytes,
                               size_t alignment) = 0;
    virtual bool do_is_equal(const memory_resource& other)
        const noexcept = 0;
};

```

memory_resource std::pmr 名前空間中に定義されている。

6.1.1 メモリリソースの使い方

memory_resource を使うのは簡単。memory_resource を確保し、allocate(bytes, alignment) を呼び出してメモリを確保し、deallocate(p, bytes, alignment) を呼び出してメモリを解放する。

```

void f( std::pmr::memory_resource * mem )
{
    // 100 バイト確保
    void * ptr = mem->allocate( 100 );
    // メモリ解放
    mem->deallocate( ptr, 100 );
}

```

2 つの memory_resource a, b が与えられた場合、一方が a.is_equal(b) が true を返す。

```

void f( std::pmr::memory_resource * a, std::pmr::memory_resource * b )
{
    void * ptr = a->allocate( 1 );
}

```

6.1 メモリリソース

```

        // a 確保 b 解放?
        if ( a->is_equal( *b ) )
        {
            b->deallocate( ptr, 1 );
        }
        else
        {
            a->deallocate( ptr, 1 );
        }
    }

    is_equal 呼出 operator == operator != 提供。

    void f( std::pmr::memory_resource * a, std::pmr::memory_resource * b )
    {
        bool b1 = ( *a == *b );
        bool b2 = ( *a != *b );
    }

```

6.1.2 メモリリソースの作り方

独自 memory_resource 符合作、memory_resource 派生上、do_allocate, do_deallocate, do_is_equal 3 private 純粋 virtual 関数。必要応。

```

class memory_resource {
    // 非公開
    static constexpr size_t max_align = alignof(max_align_t);

public:
    virtual ~memory_resource();

private:
    virtual void* do_allocate(size_t bytes, size_t alignment) = 0;
    virtual void do_deallocate( void* p, size_t bytes,
                                size_t alignment) = 0;
    virtual bool do_is_equal(const memory_resource& other)
        const noexcept = 0;
};

```

第6章 動的メモリ確保

`do_allocate(bytes, alignment)` 少なくとも `alignment` 以上の `bytes` 以上のメモリを確保し、返す。確保に失敗した場合、適切に例外 `throw` する。

`do_deallocate(p, bytes, alignment)` 事前と同様に `*this` を呼出し、`allocate(bytes, alignment)` が返すメモリ `p` を解放する。解放したメモリ `p` を渡す。例外を投げる。

`do_is_equal(other)` `&`、`*this` と `other` が互に一方を確保している一方を解放している場合 `true` を返す。

また、`malloc/free` を使った `memory_resource` を実装する以下を実装する。

```
// malloc/free を使った memory_resource
class malloc_resource : public std::pmr::memory_resource
{
public:
    //
    ~malloc_resource() { }
private:
    // メモリ確保
    // 失敗した場合 std::bad_alloc を throw
    virtual void *
    do_allocate( std::size_t bytes, std::size_t alignment ) override
    {
        void * ptr = std::malloc( bytes );
        if ( ptr == nullptr )
        { throw std::bad_alloc{} ; }

        return ptr ;
    }

    // メモリ解放
    virtual void
    do_deallocate( void * p, std::size_t bytes,
                  std::size_t alignment ) override
    {
        std::free( p ) ;
    }

    virtual bool
    do_is_equal( const memory_resource & other )
        const noexcept override
    { }
```


6.2 polymorphic_allocator : 動的メモリ管理の実現

```

{
    return dynamic_cast< const malloc_resource * >
        ( &other ) != nullptr ;
}

};

do_allocate は malloc を確保、do_deallocate は free を解放。
do_is_equal は 0 を確保。malloc は 0 を確保、C11 は 0 を確保、
POSIX は null を返す、free は解放可能何返す。
do_is_equal は、malloc_resource を確保、*this は malloc_resource を確保、
dynamic_cast は確認。

```

6.2 polymorphic_allocator : 動的ポリモーフィズムを実現するアロケーター

std::pmr::polymorphic_allocator は動的メモリ管理の実現。

従来は静的メモリ管理の実現設計。std::pmr::polymorphic_allocator 型を使用する場合以下のように書く。

```
std::vector< int, custom_int_allocator > v ;
```

std::vector は使用時に動的メモリ管理を決定する場合、実行時に動的メモリ管理を選択する場合、std::vector は引数を取設計問題。

std::vector、C++17 は引数を取、std::pmr::polymorphic_allocator は追加。

std::pmr::polymorphic_allocator は true false 入力、monotonic_buffer_resource は実行時に切替、以下のように書く。

```
int main()
{

```

第6章 動的メモリ確保

```

bool b;

std::cin >> b ;

std::pmr::memory_resource * mem ;
std::unique_ptr< memory_resource > mono ;

if ( b )
{ // 標準ライブラリが提供するメモリリソースを使用
    mem = std::pmr::get_default_resource() ;
}
else
{ // 独自のメモリリソースを使用
    mono = std::make_unique< std::pmr::monotonic_buffer_resource >
        ( std::pmr::get_default_resource() ) ;
    mem = mono.get() ;
}

std::vector< int, std::pmr::polymorphic_allocator<int> >
    v( std::pmr::polymorphic_allocator<int>( mem ) ) ;
}

std::pmr::polymorphic_allocator 以下に宣言されている。

namespace std::pmr {

template <class T>
class polymorphic_allocator ;

}

```

実引数 `std::allocator<T>` と同じ、確保型と。

6.2.1 コンストラクター

```

polymorphic_allocator() noexcept;
polymorphic_allocator(memory_resource* r);

std::pmr::polymorphic_allocator 標準ライブラリが提供する、メモリリソース
std::pmr::get_default_resource() を取得する。

memory_resource * 引数を取って、渡すメモリリソースを指定する。
polymorphic_allocator の生存期間中、指定したメモリリソースを使用する。

```

6.3 `std::pmr::polymorphic_allocator` 全体で使われるメモリーリソースの取得

`std::pmr::polymorphic_allocator` 妥当なメモリーリソースを取得。

```
int main()
{
    // p1( std::pmr::get_default_resource () ) と同値
    std::pmr::polymorphic_allocator<int> p1 ;

    std::pmr::polymorphic_allocator<int> p2(
        std::pmr::get_default_resource() ) ;
}
```

後述の通常 `std::pmr::polymorphic_allocator` と同様に振舞う。

6.3 プログラム全体で使われるメモリーリソースの取得

C++17 から、`std::pmr::new_delete_resource`、`std::pmr::null_memory_resource` 全体で使われるメモリーリソースの取得方法が提供された。

6.3.1 `std::pmr::new_delete_resource()`

```
memory_resource* new_delete_resource() noexcept ;
```

関数 `new_delete_resource` は `memory_resource` のポインタを返す。参照 `std::pmr::new_delete_resource`、`std::pmr::operator new`、`std::pmr::operator delete` を参照。

```
int main()
{
    auto mem = std::pmr::new_delete_resource() ;
}
```

6.3.2 `std::pmr::null_memory_resource()`

```
memory_resource* null_memory_resource() noexcept ;
```

関数 `null_memory_resource` は `memory_resource` のポインタを返す。参照 `std::pmr::null_memory_resource`、`std::pmr::allocate`、`std::pmr::deallocate`、`std::pmr::bad_alloc`、`std::pmr::throw`、`std::pmr::operator new`、`std::pmr::operator delete` を参照。

`std::pmr::null_memory_resource`、`std::pmr::operator new`、`std::pmr::operator delete` は、`std::pmr::bad_alloc` を `throw` する。

第6章 動的メモリ確保

6.3.3 デフォルトリソース

```
memory_resource* set_default_resource(memory_resource* r) noexcept ;
memory_resource* get_default_resource() noexcept ;
```

標準ライブラリ・標準コンパイラ・標準ライブラリ、明示的に指定されたメモリリソースの場合、標準ライブラリは明示的に指定されたメモリリソースを利用する。初期値は `new_delete_resource()` 戻り値である。

現在標準ライブラリ・標準コンパイラ・標準ライブラリ取得関数、関数 `get_default_resource` を使。標準ライブラリ・標準コンパイラ・標準ライブラリ独自にメモリリソースを差替、関数 `set_default_resource` を使。

```
int main()
{
    // 現在標準ライブラリ・標準コンパイラ・標準ライブラリ取得関数
    auto init_mem = std::pmr::get_default_resource() ;

    std::pmr::synchronized_pool_resource pool_mem ;

    // 標準ライブラリ・標準コンパイラ・標準ライブラリ変更関数
    std::pmr::set_default_resource( &pool_mem ) ;

    auto current_mem = std::pmr::get_default_resource() ;

    // true
    bool b = current_mem == pool_mem ;
}
```

6.4 標準ライブラリのメモリリソース

標準ライブラリ・標準コンパイラ・標準ライブラリ実装、標準ライブラリ・標準コンパイラ・標準ライブラリ提供。標準ライブラリ・標準コンパイラ・標準ライブラリ詳細後解説、標準ライブラリ・標準コンパイラ・標準ライブラリ事前知識、汎用的標準ライブラリ・標準コンパイラ・標準ライブラリ一般解説。

標準ライブラリ・標準コンパイラ・標準ライブラリ気軽確保。標準ライブラリ 47 標準ライブラリ 151 標準ライブラリ中途半端標準ライブラリ・標準コンパイラ・標準ライブラリ以下標準ライブラリ気軽確保。

```
int main()
{
```

```

auto mem = std::get_default_resource() ;

auto p1 = mem->allocate( 47 ) ;
auto p2 = mem->allocate( 151 ) ;

mem->deallocate( p1 ) ;
mem->deallocate( p2 ) ;
}

```

`memory_resource`、残念な現実 `memory_resource` OS 管理、柔軟な `memory_resource`。 `memory_resource`、 `memory_resource` OS、 `memory_resource` `memory_resource` 単位 `memory_resource` 確保。 `memory_resource` 最小 `memory_resource` 4K `memory_resource`。 `memory_resource` 低級 `memory_resource` 管理 `memory_resource` 上 `memory_resource` 実装 `memory_resource`、47 `memory_resource` 程度 `memory_resource` 使 `memory_resource` 3K `memory_resource` 超 `memory_resource` 無駄 `memory_resource` 生 `memory_resource`。

他 `memory_resource` 問題。 `memory_resource` `memory_resource` `memory_resource` 適切 `memory_resource` 配置 `memory_resource` `memory_resource`、著 `memory_resource` `memory_resource` 落 `memory_resource`。

`malloc` `operator new` `memory_resource`、低級 `memory_resource` 管理 `memory_resource` 隠 `memory_resource`、小 `memory_resource` `memory_resource` 確保 `memory_resource` 効率 `memory_resource` 行 `memory_resource` 実装 `memory_resource`。

一般的 `memory_resource`、大 `memory_resource` 連続 `memory_resource` 空間 `memory_resource` 確保、 `memory_resource` 中 `memory_resource` 管理用 `memory_resource` 構造 `memory_resource` 作、 `memory_resource` 必要 `memory_resource` 切 `memory_resource` 出。

```

// 実装

// memory_resource 分割管理 memory_resource 構造
struct alignas(std::max_align_t) chunk
{
    chunk * next ;
    chunk * prev ;
    std::size_t size ;
} ;

class memory_allocator : public std::pmr::memory_resource
{
    chunk * ptr ; // memory_resource 先頭 memory_resource
    std::size_t size ; // memory_resource
    std::mutex m ; // 同期用
}

```

第6章 動的メモリ確保

```

public :

    memory_allocator()
    {
        // 大領域連続メモリ確保
    }

    virtual void *
    do_allocate( std::size_t bytes, std::size_t alignment ) override
    {
        std::scoped_lock lock( m );
        // 領域確保、十分大領域未使用領域探し、メモリ構造体
        // 構築返す
        // 要求注意
    }

    virtual void *
    do_allocate( std::size_t bytes, std::size_t alignment ) override
    {
        std::scoped_lock lock( m );
        // 該当部分削除
    }

    virtual bool
    do_is_equal( const memory_resource & other )
        const noexcept override
    {
        // *this と other が相互解放可能返す
    }
} ;

```

6.5 プールリソース

C++17 標準で提供される `synchronized_pool_resource` と `unsynchronized_pool_resource` の 2 つ。

6.5.1 アルゴリズム

以下の特徴を持つ。

-

第6章 内存池：动态内存管理

```

template < size_t block_size >
class chunk
{
    blocks<block_size> b ;
}

// 内存池实现
template < size_t block_size >
class pool : public memory_resource
{
    chunks<block_size> c ;
} ;

class pool_resource : public memory_resource
{
    // 内存池实现
    pool<8> pool_8bytes ;
    pool<16> pool_16bytes ;
    pool<32> pool_32bytes ;

    // 上流内存管理
    memory_resource * mem ;

    virtual void * do_allocate( size_t bytes, size_t alignment ) override
    {
        // 对应内存池实现
        if ( bytes <= 8 )
            return pool_8bytes.allocate( bytes, alignment ) ;
        else if ( bytes <= 16 )
            return pool_16bytes.allocate( bytes, alignment ) ;
        else if ( bytes < 32 )
            return pool_32bytes.allocate( bytes, alignment ) ;
        else
            // 最大内存池实现超上流内存管理
            return mem->allocate( bytes, alignment ) ;
    }
} ;

```


- `pool_options` 構造時 `pool_options` 渡す、最大 `pool_options` 最大 `pool_options` 設定。
- `synchronized_pool_resource` 呼出す安全同期取る `synchronized_pool_resource`、同期取る `unsynchronized_pool_resource`。

6.5.2 `synchronized/unsynchronized_pool_resource`

`synchronized_pool_resource`、`synchronized_pool_resource` `unsynchronized_pool_resource`。名前以外同様に使用。同期、`synchronized_pool_resource` 複数同時に実行させる使用内部同期取る対、`unsynchronized_pool_resource` 同期行。 `unsynchronized_pool_resource` 複数同時に呼出す。

// 実装

```
namespace std::pmr {

class synchronized_pool_resource : public memory_resource
{
    std::mutex m ;

    virtual void *
    do_allocate( size_t size, size_t alignment ) override
    {
        // 同期
        std::scoped_lock l(m) ;
        return do_allocate_impl( size, alignment ) ;
    }
} ;

class unsynchronized_pool_resource : public memory_resource
{
    virtual void *
    do_allocate( size_t size, size_t alignment ) override
    {
        // 同期
        return do_allocate_impl( size, alignment ) ;
    }
} ;
```

第6章 動的メモリ確保

}

6.5.3 pool_options

pool_options 挙動指定、以下定義。

```
namespace std::pmr {

struct pool_options {
    size_t max_blocks_per_chunk = 0;
    size_t largest_required_pool_block = 0;
};

}
```

pool_options 与、挙動指定。、pool_options 指定、実装従義務。

max_blocks_per_chunk、上流、補充、一度、最大、数。値、実装上限大場合、実装上限使用。実装指定小値使用、別値使用。

largest_required_pool_block 機構、確保最大、。値大、確保、上流、直接確保。値、実装上限大場合、実装上限使用。実装指定大値使用。

6.5.4 プールリソースのコンストラクター

根本的、以下。synchronized、unsynchronized 同。

```
pool_resource(const pool_options& opts, memory_resource* upstream);

pool_resource()
: pool_resource(pool_options(), get_default_resource()) {}
explicit pool_resource(memory_resource* upstream)
: pool_resource(pool_options(), upstream) {}
```

6.6 `memory_resource::monotonic_buffer_resource`

```
explicit pool_resource(const pool_options& opts)
: pool_resource(opts, get_default_resource()) {}
```

`pool_options` を `memory_resource` * 指定。指定した場合 `memory_resource` 値を使用。

6.5.5 プールリソースのメンバー関数

`release()`

```
void release();
```

確保したメモリを解放。明示的 `deallocate` を呼出。解放。

```
int main()
{
    synchronized_pool_resource mem ;
    void * ptr = mem.allocate( 10 );

    // ptr を解放
    mem.release() ;
}
```

`upstream_resource()`

```
memory_resource* upstream_resource() const;
```

構築時渡った上流 `memory_resource` を返す。

`options()`

```
pool_options options() const;
```

構築時渡った `pool_options` を返す。

6.6 モノトニックバッファリソース

`memory_resource::monotonic_buffer_resource` C++17 標準に追加された `memory_resource` の実装。名前 `monotonic_buffer_resource`。

`monotonic_buffer_resource` は高速確保、一括解放を実現。

第 6 章 動的メモリ確保

用途特化特殊設計。解放、使用量増続、名前付。

1 描画際大量小メモリ確保、後確保解放場合考。通常片解放全体構築、構造書換。処理高。片一斉解放、構造書換必要。管理、単。

```
// 実装
```

```
namespace std::pmr {

class monotonic_buffer_resource : public memory_resource
{
    // 連続長大メモリ先頭
    void * ptr ;
    // 現在未使用メモリ先頭
    std::byte * current ;

    virtual void *
    do_allocate( size_t bytes, size_t alignment ) override
    {
        void * result = static_cast<void *>(current) ;
        current += bytes ; // 必要メモリ調整
        return result ;
    }

    virtual void
    do_deallocate( void * ptr, size_t bytes, size_t alignment ) override
    {
        // 何
    }

public :
    ~monotonic_buffer_resource()
    {
        // ptr 解放
    }
}
```

6.6 `std::pmr::monotonic_buffer_resource`

```
    }
} ;

}
```

`std::pmr::monotonic_buffer_resource`、基本的実装、`do_allocate` 加算管理、`do_deallocate` 解放処理、個々片管理、構造構築必要。do_allocate 何。解放全体。

6.6.1 アルゴリズム

`std::pmr::monotonic_buffer_resource` 以下特徴持。

- `deallocate` 呼出何。使用量破棄増続。

```
int main()
{
    std::pmr::monotonic_buffer_resource mem ;

    void * ptr = mem.allocate( 10 ) ;
    // 何
    // 解放
    mem.deallocate( ptr ) ;

    // mem 破棄際確保破棄
}
```

- 確保使初期与。確保際、初期空場合確保。空場合上流確保、確保。

```
int main()
{
    std::byte initial_buffer[10] ;
    std::pmr::monotonic_buffer_resource
        mem( initial_buffer, 10, std::pmr::get_default_resource() ) ;

    // 初期確保
```

第6章 動的メモリ確保

```

    mem.allocate( 1 );
    // 上流メモリ確保が完了したら、確保済みメモリを解放
    mem.allocate( 100 );
    // 前回確保したメモリを空にする
    // 新しく上流メモリ確保が完了したら
    mem.allocate( 100 );
}

```

- 1. メモリ確保の前提設計。allocate と deallocate の同期。
- 2. メモリ確保の破棄。メモリ確保が完了したら解放。明示的 deallocate の呼び出し。

6.6.2 コンストラクター

以下に示すように、メモリ確保の初期化を行う。

```

explicit monotonic_buffer_resource(memory_resource *upstream);
monotonic_buffer_resource( size_t initial_size,
                           memory_resource *upstream);
monotonic_buffer_resource( void *buffer, size_t buffer_size,
                           memory_resource *upstream);

```

```

monotonic_buffer_resource()
    : monotonic_buffer_resource(get_default_resource()) {}
explicit monotonic_buffer_resource(size_t initial_size)
    : monotonic_buffer_resource(initial_size,
                                get_default_resource()) {}
monotonic_buffer_resource(void *buffer, size_t buffer_size)
    : monotonic_buffer_resource(buffer, buffer_size,
                                get_default_resource()) {}

```

初期メモリ確保の取得は、以下に示すように行う。

```

explicit monotonic_buffer_resource(memory_resource *upstream);
monotonic_buffer_resource( size_t initial_size,
                           memory_resource *upstream);

monotonic_buffer_resource()
    : monotonic_buffer_resource(get_default_resource()) {}

```

6.6 単調増加メモリリソース

```
explicit monotonic_buffer_resource(size_t initial_size)
    : monotonic_buffer_resource(initial_size,
                                get_default_resource()) {}
```

`initial_size` は、上流メモリリソースが最初確保するメモリ量（初期容量）を指定する。実装依存、メモリ実装依存を確保する。

上流メモリリソース `std::pmr::get_default_resource()` と同じ挙動をする。

`size_t` は取得するメモリ量、初期容量とその後増えるメモリ量を指定する。

初期取得するメモリ量が以下になる。

```
monotonic_buffer_resource( void *buffer, size_t buffer_size,
                           memory_resource *upstream);
```

```
monotonic_buffer_resource(void *buffer, size_t buffer_size)
    : monotonic_buffer_resource(buffer, buffer_size,
                                get_default_resource()) {}
```

初期メモリ先頭 `void *` 型を渡す、メモリ `size_t` 型を渡す。

6.6.3 その他の操作

release()

```
void release() ;
```

関数 `release` は、上流メモリリソースが確保するメモリを解放する。明示的に `deallocate` を呼ぶ必要はない。

```
int main()
{
    std::pmr::monotonic_buffer_resource mem ;

    mem.allocate( 10 );

    // メモリ解放
    mem.release() ;
}
```

第 6 章 `memory_resource` : 動的メモリの確保と解放`upstream_resource()`

```
memory_resource* upstream_resource() const;
```

`memory_resource` 関数 `upstream_resource` は、構築時と `upstream_resource` 上流の `memory_resource` を返す。

第7章

並列アルゴリズム

並列関数群は C++17 で追加された新関数群である。関数群は既存の `<algorithm>` に、並列実行版を追加した。

7.1 並列実行について

C++11 から、関数群同期処理を追加し、複数実行媒体で同時に実行する関数群概念は C++ 標準規格に入っている。

C++17 から、既存関数群と並列実行版を追加した。

関数群、`all_of(first, last, pred)` 関数群は `[first,last)` 区間が空でない、関数群 `i` に対して `pred(*i)` が `true` を返す、`true` を返す。関数以外の場合 `false` を返す。

関数群値 100 未満関数群を調べ、以下関数群を書き。

```
template < typename Container >
bool is_all_of_less_than_100( Container const & input )
{
    return std::all_of( std::begin(input), std::end(input),
        []( auto x ) { return x < 100 ; } ) ;
}

int main()
{
    std::vector<int> input ;
    std::copy( std::istream_iterator<int>(std::cin),
        std::istream_iterator<int>(), std::back_inserter(input) ) ;

    bool result = is_all_of_less_than_100( input ) ;
```

第 7 章 並列プログラミング

```
std::cout << "result : " << result << std::endl ;
}
```

本書執筆時点、`std::all_of` などの `std::` 空間の関数、同時に複数 `std::` 空間を実行する `std::` 関数。関数 `std::all_of` は 2 つの `std::` 空間を並列化して実行する。

```
template < typename Container >
bool double_is_all_of_less_than_100( Container const & input )
{
    auto first = std::begin(input) ;
    auto last = first + (input.size()/2) ;

    auto r1 = std::async( [=]
    {
        return std::all_of( first, last,
                           [](auto x) { return x < 100 ; } ) ;
    } ) ;

    first = last ;
    last = std::end(input) ;

    auto r2 = std::async( [=]
    {
        return std::all_of( first, last,
                           [](auto x) { return x < 100 ; } ) ;
    } ) ;

    return r1.get() && r2.get() ;
}
```

`std::all_of`、`std::any_of`、`std::none_of`。

筆者は `std::all_of`、`std::any_of`、`std::none_of` CPU 2 つ物理コア、4 つ論理コアを持つマシンで、4 つ `std::all_of` 同時に並列実行する。読者が `std::all_of`、`std::any_of`、`std::none_of` 高性能な多コアマシンで同時に実行可能。実行時最大効率出 `std::all_of`、`std::any_of`、`std::none_of`。

```
template < typename Container >
bool parallel_is_all_of_less_than_100( Container const & input )
{
    std::size_t cores = std::thread::hardware_concurrency() ;
```

```

cores = std::min( input.size(), cores ) ;

std::vector< std::future<bool> > futures( cores ) ;

auto step = input.size() / cores ;
auto remainder = input.size() % cores ;

auto first = std::begin(input) ;
auto last = first + step + remainder ;

for ( auto & f : futures )
{
    f = std::async( [=]
    {
        return std::all_of( first, last,
                           [](auto x){ return x < 100 ; } ) ;
    } ) ;

    first = last ;
    last = first + step ;
}

for ( auto & f : futures )
{
    if ( f.get() == false )
        return false ;
}
return true ;
}

```

例7.2.1: 並列化された素数判定の実装。

例7.2.1: 並列化された素数判定の実装。この例は、C++17の標準ライブラリ（Parallelism）を追加した環境で実行される。

7.2 使い方

並列化された素数判定の実装は、C++17の標準ライブラリ（Parallelism）を追加した環境で実行される。

以下は、C++17の標準ライブラリ（Parallelism）の宣言。

第7章 並列アルゴリズム

```
template <class InputIterator, class Predicate>
bool all_of(InputIterator first, InputIterator last, Predicate pred);
```

並列版 `all_of` 以下に宣言する。

```
template < class ExecutionPolicy, class ForwardIterator,
           class Predicate>
bool all_of(ExecutionPolicy&& exec, ForwardIterator first,
            ForwardIterator last, Predicate pred);
```

並列版、仮引数 `ExecutionPolicy` に追加する第一引数を取る。実行時に呼ばれる。

実行時に `<execution>` に定義する関数を用いる型、`std::execution::seq`, `std::execution::par`, `std::execution::par_unseq`。複数並列実行を行う、`std::execution::par` を使う。

```
template < typename Container >
bool is_all_of_less_than_100( Container const & input )
{
    return std::all_of( std::execution::par,
                       std::begin(input), std::end(input),
                       []( auto x ){ return x < 100 ; } ) ;
}
```

`std::execution::seq` は渡した既存の同型で実行する。`std::execution::par` は渡した型で実行する。`std::execution::par_unseq` は並列実行する。

C++17 実行時に受取る関数に追加する。

7.3 並列アルゴリズム詳細

7.3.1 並列アルゴリズム

並列アルゴリズム (parallel algorithm) は、`ExecutionPolicy` (実行ポリシー) に渡した関数を実行する。既存の `<algorithm>` は C++14 に追加された一部関数、並列版に対応する。

並列版、仕様上定数操作、提供関数操作、仕様上定数関数に対する操作

7.3 並列アルゴリズム詳細

、アルゴリズムを実行する。アルゴリズム関数群、要素アクセス関数 (element access functions) を呼ぶ。

、std::sort 以下アルゴリズム要素アクセス関数を持つ。

- アルゴリズム実引数とアルゴリズム要素アクセス関数
- 要素対 swap 関数適用
- アルゴリズム提供 Compare 関数

並列アルゴリズム使用要素アクセス関数、並列実行に伴う制約を満たす。

7.3.2 ユーザー提供する関数オブジェクトの制約

並列アルゴリズム、アルゴリズム名、Predicate, BinaryPredicate, Compare, UnaryOperation, BinaryOperation, BinaryOperation1, BinaryOperation2 アルゴリズム、関数アルゴリズム、アルゴリズム提供関数、並列アルゴリズム提供関数アルゴリズム、並列アルゴリズム渡す際制約。

- 実引数とアルゴリズム直接、間接変更
- 実引数とアルゴリズム一意性依存
- アルゴリズム競合同期

一部特殊アルゴリズム例外、アルゴリズム並列アルゴリズム制約を満たす。

実引数とアルゴリズム直接、間接変更

アルゴリズム提供関数アルゴリズム実引数とアルゴリズム直接、間接変更。

、以下アルゴリズム違法。

```
int main()
{
    std::vector<int> c = { 1,2,3,4,5 };
    std::all_of( std::execution::par, std::begin(c), std::end(c),
        [](auto & x){ ++x ; return true ; } ) ;
    //
}
```

、アルゴリズム提供関数アルゴリズム実引数 lvalue 受取り変更、並列アルゴリズム制約を満たす。

第 7 章 並列処理

`std::for_each` 関数が変更可能な要素を返す場合、関数提供関数を実引数に変更する可能性がある。

```
int main()
{
    std::vector<int> c = { 1,2,3,4,5 };
    std::for_each( std::execution::par, std::begin(c), std::end(c),
        [](auto & x){ ++x ; } ) ;
    // OK
}
```

`std::for_each` の仕様上関数は定数関数である。

実引数と一意性依存

関数提供関数を実引数と一意性依存関数とを渡すことは、一意性依存関数である。

関数提供関数、関数実引数を渡す関数は、関数取得関数、関数渡す関数と同様に期待される。

```
int main()
{
    std::vector<int> c = { 1,2,3,4,5 };

    // 最後の要素を特別に処理
    int * ptr = &c[4] ;

    std::all_of( std::execution::par, std::begin(c), std::end(c),
        [=]( auto & x ){
            if ( ptr == &x )
            {
                // 最後の要素を特別に処理
                // ...
            }
        } ) ;
}
```

関数提供関数、並列処理並列処理関数、要素作成関数、関数提供関数渡す関数。

```
// 実装

template < typename ExecutionPolicy,
            typename ForwardIterator,
            typename Predicate >
bool all_of( ExecutionPolicy && exec,
             ForwardIterator first, ForwardIterator last,
             Predicate pred )
{
    if constexpr (
        std::is_same_v< ExecutionPolicy,
                        std::execution::parallel_policy >
    )
    {
        std::vector c( first, last ) ;
        do_all_of_par( std::begin(c), std::end(c), pred ) ;
    }
}
```

、一意性依存を書き。

競合同期

`std::execution::sequenced_policy` 渡す並列実行要素関数呼出し側実行。実行。

`std::execution::parallel_policy` 渡す並列実行要素関数呼出し、側作同期定。要素関数呼出し同期定。要素関数競合起。

以下競合発生。

```
int main()
{
    int sum = 0 ;

    std::vector<int> c = { 1,2,3,4,5 } ;

    std::for_each( std::execution::par, std::begin(c), std::end(c),
        [&]( auto x ){ sum += x ; } ) ;
    // 、競合
}
```

第 7 章 並列プログラミング

mutex、atomic 提供関数は複数のスレッドが同時に呼ばれることを保証する。

`std::execution::parallel_unsequenced_policy` は実行変換。未規定同期化を実行許可。mutex、atomic は実行想定を実行媒体、強行保証を実行媒体、SIMD、GPU、極軽実行媒体。

結果、要素関数は通常競合を防ぐ手段を取らない。mutex、atomic は実行途中で中断を別処理で処理する。

mutex、以下は動的。

```
int main()
{
    int sum = 0 ;
    std::mutex m ;

    std::vector<int> c = { 1,2,3,4,5 } ;

    std::for_each(
        std::execution::par_unseq,
        std::begin(c), std::end(c),
        [&]( auto x ) {
            std::scoped_lock l(m) ;
            sum += x ;
        } ) ;
    // 結果
}
```

parallel_policy は、非効率の問題同期化競合を動的。mutex、parallel_unsequenced_policy は動的。mutex、mutex lock は同期化関数を呼ぶ。

C++ は、確保解放以外同期化標準関数、vectorization-unsafe は分類。vectorization-unsafe 関数 std::execution::parallel_unsequenced_policy は要素関数内呼ぶ。

7.3.3 例外

並列実行中、一時確保確保必要確保確保場合、`std::bad_alloc` を throw 。

7.3 並列実行の詳細

並列実行中、要素関数外例外が投げられる場合、`std::terminate` を呼ぶ。

7.3.4 実行ポリシー

実行ポリシーは `<execution>` に定義されている。この定義は以下に示す。

```
namespace std {
    template<class T> struct is_execution_policy;
    template<class T> inline constexpr bool
        is_execution_policy_v = is_execution_policy<T>::value;
}

namespace std::execution {

    class sequenced_policy;
    class parallel_policy;
    class parallel_unsequenced_policy;

    inline constexpr sequenced_policy seq{ };
    inline constexpr parallel_policy par{ };
    inline constexpr parallel_unsequenced_policy par_unseq{ };

}
```

is_execution_policy traits

`std::is_execution_policy<T>` は `T` が実行ポリシー型かどうかを返す traits。

```
// false
constexpr bool b1 = std::is_execution_policy_v<int> ;
// true
constexpr bool b2 =
    std::is_execution_policy_v<std::execution::sequenced_policy> ;
```

並列実行

```
namespace std::execution {

    class sequenced_policy ;
```

第7章 並列実行

```
inline constexpr sequenced_policy seq { } ;

}
```

実行、並列実行実行行。実行渡場合、処理呼出元、行。

実行

```
namespace std::execution {

class parallel_policy ;
inline constexpr parallel_policy par { } ;

}
```

実行、並列実行実行行。実行渡場合、処理呼出元、作成用。

非実行

```
namespace std::execution {

class parallel_unsequenced_policy ;
inline constexpr parallel_unsequenced_policy par_unseq { } ;

}
```

非実行、並列実行実行行。実行渡場合、処理複数、SIMD GPU 実行並列化行。

実行

```
namespace std::execution {

inline constexpr sequenced_policy seq{ };
inline constexpr parallel_policy par{ };
inline constexpr parallel_unsequenced_policy par_unseq{ };

}
```

7.3 並列実行の詳細

```
}
```

実行型直接書面倒。

```
std::for_each( std::execution::parallel_policy{}, ... );
```

、標準実行型実行型用意。seq par par_unseq。

```
std::for_each( std::execution::par, ... );
```

並列実行型、並列実行型第一引数渡。



第8章

数学の特殊関数群

C++17 数学特殊関数群 (mathematical special functions) の追加。

数学特殊関数、実引数取、規定計算、結果浮動小数点数型戻値返。

数学特殊関数 `double`, `float`, `long double` 型 3 種類。関数名最後、何、`f`, `l` 表現。

```
double      function_name() ;    // 何
float       function_namef() ;   // f
long double function_name1() ;   // l
```

数学特殊関数説明、関数宣言、効果、戻値、注意。

数学特殊関数渡実引数 NaN (Not a Number) 場合、関数戻値 NaN。

以外場合、関数定義域返。

- 関数戻値記述、定義域示実引数示定義域超
- 実引数対応数学関数結果値非虚数部含
- 実引数対応数学関数結果値数学の定義

別途示場合、関数有限値、負無限大、正無限大対定義。

数学関数与実引数値対定義、以下。

- 実引数値集合対明示の定義
- 計算方法依存極限值存在

第 8 章 数学特殊関数群

関数効果実装定義 (implementation-defined) 場合、効果 C++ 標準規格定義、C++ 実装実装意味。

8.1 ラゲール多項式 (Laguerre polynomials)

```
double      laguerre(unsigned n, double x);
float       laguerref(unsigned n, float x);
long double laguerrel(unsigned n, long double x);
```

効果：実引数 n, x 対ラゲール多項式 (Laguerre polynomials) 計算。

戻値：

$$L_n(x) = \frac{e^x}{n!} \frac{d^n}{dx^n} (x^n e^{-x}), \quad \text{for } x \geq 0$$

$n \geq 0, x \geq 0$ 。

注意： $n \geq 128$ 関数呼出効果実装定義。

8.2 ラゲール陪多項式 (Associated Laguerre polynomials)

```
double      assoc_laguerre(unsigned n, unsigned m, double x);
float       assoc_laguerref(unsigned n, unsigned m, float x);
long double assoc_laguerrel(unsigned n, unsigned m, long double x);
```

効果：実引数 n, m, x 対ラゲール陪多項式 (Associated Laguerre polynomials) 計算。

戻値：

$$L_n^m(x) = (-1)^m \frac{d^m}{dx^m} L_{n+m}(x), \quad \text{for } x \geq 0$$

$n \geq 0, m \geq 0, x \geq 0$ 。

注意： $n \geq 128$ 関数呼出効果実装定義。

8.3 ルジャンドル多項式 (Legendre polynomials)

```
double      legendre(unsigned l, double x);
float       legendref(unsigned l, float x);
long double legendrel(unsigned l, long double x);
```

効果：実引数 l, x 対ルジャンドル多項式 (Legendre polynomials) 計算。

8.4 assoc_legendre 関数 (Associated Legendre functions)

戻り値:

$$P_\ell(x) = \frac{1}{2^\ell \ell!} \frac{d^\ell}{dx^\ell} (x^2 - 1)^\ell, \quad \text{for } |x| \leq 1$$

 $l \geq 1, x \in [-1, 1]$ 。注意: $l \geq 128$ の場合関数の呼び出し結果は実装定義される。8.4 assoc_legendre 関数 (Associated Legendre functions)

```
double      assoc_legendre(unsigned l, unsigned m, double x);
float       assoc_legendref(unsigned l, unsigned m, float x);
long double assoc_legendrel(unsigned l, unsigned m, long double x);
```

効果: 実引数 l, m, x に対して assoc_legendre 関数 (Associated Legendre functions) を計算する。

戻り値:

$$P_\ell^m(x) = (1 - x^2)^{m/2} \frac{d^m}{dx^m} P_\ell(x), \quad \text{for } |x| \leq 1$$

 $l \geq 1, m \leq m, x \in [-1, 1]$ 。注意: $l \geq 128$ の場合関数の呼び出し結果は実装定義される。8.5 sph_legendre 関数 (Spherical associated Legendre functions)

```
double      sph_legendre(unsigned l, unsigned m, double theta);
float       sph_legendref(unsigned l, unsigned m, float theta);
long double sph_legendrel(unsigned l, unsigned m,
                          long double theta);
```

効果: 実引数 l, m, theta (theta は単位ラジアン) に対して球面 sph_legendre 関数 (Spherical associated Legendre functions) を計算する。

戻り値:

$$Y_\ell^m(\theta, 0)$$

 $\text{theta} \in [0, \pi]$ 、

$$Y_\ell^m(\theta, \phi) = (-1)^m \left[\frac{(2\ell + 1)(\ell - m)!}{4\pi(\ell + m)!} \right]^{1/2} P_\ell^m(\cos \theta) e^{im\phi}, \quad \text{for } |m| \leq \ell$$

 $l \geq 1, m \leq m, \theta \in [0, \pi]$ 。注意: $l \geq 128$ の場合関数の呼び出し結果は実装定義される。

第 8 章 数学特殊関数群

球面調和関数 (Spherical harmonics) $Y_\ell^m(\theta, \phi)$ 、以下関数関数定義計算。

```
#include <cmath>
#include <complex>

std::complex<double>
spherical_harmonics(unsigned l, unsigned m, double theta, double phi)
{
    return std::sph_legendre(l, m, theta) * std::polar(1.0, m * phi) ;
}
```

陪関数参照。

8.6 エルミート多項式 (Hermite polynomials)

```
double      hermite(unsigned n, double x);
float       hermitef(unsigned n, float x);
long double hermitel(unsigned n, long double x);
```

効果：実引数 n, x 対エルミート多項式 (Hermite polynomials) 計算。
戻値：

$$H_n(x) = (-1)^n e^{x^2} \frac{d^n}{dx^n} e^{-x^2}$$

$n \leq n, x \leq x$ 。

注意： $n \geq 128$ 関数呼出効果実装定義。

8.7 ベータ関数 (Beta function)

```
double      beta(double x, double y);
float       betaf(float x, float y);
long double betal(long double x, long double y);
```

効果：実引数 x, y 対ベータ関数 (Beta function) 計算。
戻値：

$$B(x, y) = \frac{\Gamma(x)\Gamma(y)}{\Gamma(x+y)}, \quad \text{for } x > 0, y > 0$$

$x \leq x, y \leq y$ 。

8.8 第 1 種完全楕円積分 (Complete elliptic integral of the first kind)

8.8 第 1 種完全楕円積分 (Complete elliptic integral of the first kind)

```
double    comp_ellint_1(double k);
float     comp_ellint_1f(float k);
long double comp_ellint_1l(long double k);
```

効果：実引数 k に対して第 1 種完全楕円積分 (Complete elliptic integral of the first kind) を計算する。

戻値：

$$K(k) = F(k, \pi/2), \quad \text{for } |k| \leq 1$$

$k > 1$ の場合。

第 1 種不完全楕円積分を参照。

8.9 第 2 種完全楕円積分 (Complete elliptic integral of the second kind)

```
double    comp_ellint_2(double k);
float     comp_ellint_2f(float k);
long double comp_ellint_2l(long double k);
```

効果：実引数 k に対して第 2 種完全楕円積分 (Complete elliptic integral of the second kind) を計算する。

戻値：

$$E(k) = E(k, \pi/2), \quad \text{for } |k| \leq 1$$

$k > 1$ の場合。

第 2 種不完全楕円積分を参照。

8.10 第 3 種完全楕円積分 (Complete elliptic integral of the third kind)

```
double    comp_ellint_3(double k, double nu);
float     comp_ellint_3f(float k, float nu);
long double comp_ellint_3l(long double k, long double nu);
```

第 8 章 数学特殊関数群

効果：実引数 k , nu 対第 3 種完全楕円積分 (Complete elliptic integral of the third kind) を計算。

戻値：

$$\Pi(\nu, k) = \Pi(\nu, k, \pi/2), \quad \text{for } |k| \leq 1$$

k k , ν nu 。

第 3 種不完全楕円積分を参照。

8.11 第 1 種不完全楕円積分 (Incomplete elliptic integral of the first kind)

```
double    ellint_1(double k, double phi);
float     ellint_1f(float k, float phi);
long double ellint_1l(long double k, long double phi);
```

効果：実引数 k , phi (phi 単位) 対第 1 種不完全楕円積分 (Incomplete elliptic integral of the first kind) を計算。

戻値：

$$F(k, \phi) = \int_0^\phi \frac{d\theta}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \theta}}, \quad \text{for } |k| \leq 1$$

k k , ϕ phi 。

8.12 第 2 種不完全楕円積分 (Incomplete elliptic integral of the second kind)

```
double    ellint_2(double k, double phi);
float     ellint_2f(float k, float phi);
long double ellint_2l(long double k, long double phi);
```

効果：実引数 k , phi (phi 単位) 対第 2 種不完全楕円積分 (Incomplete elliptic integral of the second kind) を計算。

戻値：

$$E(k, \phi) = \int_0^\phi \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \theta} d\theta, \quad \text{for } |k| \leq 1$$

k k , ϕ phi 。

8.13 第3種不完全楕円積分 (Incomplete elliptic integral of the third kind)

8.13 第3種不完全楕円積分 (Incomplete elliptic integral of the third kind)

```
double    ellint_3( double k, double nu, double phi);
float     ellint_3f( float k, float nu, float phi);
long double ellint_3l( long double k, long double nu,
                      long double phi);
```

効果：実引数 k , nu , phi (phi は単位弧度) に対して第3種不完全楕円積分 (Incomplete elliptic integral of the third kind) を計算する。

戻値：

$$\Pi(\nu, k, \phi) = \int_0^\phi \frac{d\theta}{(1 - \nu \sin^2 \theta) \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \theta}}, \quad \text{for } |k| \leq 1$$

ν は nu , k は k , ϕ は phi である。

8.14 第1種ベッセル関数 (Cylindrical Bessel functions of the first kind)

```
double    cyl_bessel_j(double nu, double x);
float     cyl_bessel_jf(float nu, float x);
long double cyl_bessel_jl(long double nu, long double x);
```

効果：実引数 nu , x に対して第1種ベッセル関数 (Cylindrical Bessel functions of the first kind, Bessel functions of the first kind) を計算する。

戻値：

$$J_\nu(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k (x/2)^{\nu+2k}}{k! \Gamma(\nu + k + 1)}, \quad \text{for } x \geq 0$$

ν は nu , x は x である。

注意： $nu \geq 128$ の場合、関数の呼び出し効果が実装定義される。

8.15 ノイマン関数 (Cylindrical Neumann functions)

```
double    cyl_neumann(double nu, double x);
float     cyl_neumannf(float nu, float x);
long double cyl_neumannl(long double nu, long double x);
```

第 8 章 数学特殊関数群

効果：実引数 `nu`, `x` 対第 2 種円筒関数 (Cylindrical Neumann functions, Neumann functions)、第 2 種円筒関数 (Cylindrical Bessel functions of the second kind, Bessel functions of the second kind) を計算。

戻値：

$$N_{\nu}(x) = \begin{cases} \frac{J_{\nu}(x) \cos \nu\pi - J_{-\nu}(x)}{\sin \nu\pi}, & \text{for } x \geq 0 \text{ and non-integral } \nu \\ \lim_{\mu \rightarrow \nu} \frac{J_{\mu}(x) \cos \mu\pi - J_{-\mu}(x)}{\sin \mu\pi}, & \text{for } x \geq 0 \text{ and integral } \nu \end{cases}$$

ν 型 `nu`, x 型 `x`。

注意：`nu` ≥ 128 の関数の呼出効果は実装定義。

第 1 種円筒関数を参照。

8.16 第 1 種変形ベッセル関数 (Regular modified cylindrical Bessel functions)

```
double    cyl_bessel_i(double nu, double x);
float     cyl_bessel_if(float nu, float x);
long double cyl_bessel_il(long double nu, long double x);
```

効果：実引数 `nu`, `x` 対第 1 種変形円筒関数 (Regular modified cylindrical Bessel functions, Modified Bessel functions of the first kind) を計算。

戻値：

$$I_{\nu}(x) = i^{-\nu} J_{\nu}(ix) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(x/2)^{\nu+2k}}{k! \Gamma(\nu+k+1)}, \quad \text{for } x \geq 0$$

ν 型 `nu`, x 型 `x`。

注意：`nu` ≥ 128 の関数の呼出効果は実装定義。

第 1 種円筒関数を参照。

8.17 第 2 種変形ベッセル関数 (Irregular modified cylindrical Bessel functions)

```
double    cyl_bessel_k(double nu, double x);
float     cyl_bessel_kf(float nu, float x);
long double cyl_bessel_kl(long double nu, long double x);
```

効果：実引数 `nu`, `x` 対第 2 種変形円筒関数 (Irregular modified cylindrical Bessel functions, Modified Bessel functions of the second kind) を計算。

8.18 第1種球ベッセル関数 (Spherical Bessel functions of the first kind)

戻り値：

$$K_\nu(x) = (\pi/2)i^{\nu+1}(J_\nu(ix) + iN_\nu(ix))$$

$$= \begin{cases} \frac{\pi}{2} \frac{I_{-\nu}(x) - I_\nu(x)}{\sin \nu\pi}, & \text{for } x \geq 0 \text{ and non-integral } \nu \\ \frac{\pi}{2} \lim_{\mu \rightarrow \nu} \frac{I_{-\mu}(x) - I_\mu(x)}{\sin \mu\pi}, & \text{for } x \geq 0 \text{ and integral } \nu \end{cases}$$

ν は `nu`, x は `x` である。

注意：`nu` >= 128 の関数を呼出た効果は実装定義である。

第1種変形ベッセル関数、第1種球ベッセル関数、ベッセル関数を参照。

8.18 第1種球ベッセル関数 (Spherical Bessel functions of the first kind)

```
double      sph_bessel(unsigned n, double x);
float       sph_besself(unsigned n, float x);
long double sph_bessell(unsigned n, long double x);
```

効果：実引数 `n`, `x` に対して第1種球ベッセル関数 (Spherical Bessel functions of the first kind) を計算する。

戻り値：

$$j_n(x) = (\pi/2x)^{1/2} J_{n+1/2}(x), \quad \text{for } x \geq 0$$

注意：`n` >= 128 の関数を呼出た効果は実装定義である。

第1種ベッセル関数を参照。

8.19 球ノイマン関数 (Spherical Neumann functions)

```
double      sph_neumann(unsigned n, double x);
float       sph_neumannf(unsigned n, float x);
long double sph_neumannl(unsigned n, long double x);
```

効果：実引数 `n`, `x` に対して球ノイマン関数 (Spherical Neumann functions)、
別名第2種球ベッセル関数 (Spherical Bessel functions of the second kind) を計算する。

戻り値：

$$n_n(x) = (\pi/2x)^{1/2} N_{n+1/2}(x), \quad \text{for } x \geq 0$$

n は `n`, x は `x` である。

第 8 章 数学特殊関数群

注意： $n \geq 128$ の関数呼び出し効果実装定義。関数参照。

8.20 指数積分 (Exponential integral)

```
double      expint(double x);
float       expintf(float x);
long double expintl(long double x);
```

効果：実引数 x 対指数積分 (Exponential integral) 計算。

戻値：

$$\text{Ei}(x) = - \int_{-x}^{\infty} \frac{e^{-t}}{t} dt$$

$x \leq 0$ 。

8.21 リーマンゼータ関数 (Riemann zeta function)

```
double      riemann_zeta(double x);
float       riemann_zetaf(float x);
long double riemann_zetal(long double x);
```

効果：実引数 x 対リーマンゼータ関数 (Riemann zeta function) 計算。

戻値：

$$\zeta(x) = \begin{cases} \sum_{k=1}^{\infty} k^{-x}, & \text{for } x > 1 \\ \frac{1}{1-2^{1-x}} \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^{k-1} k^{-x}, & \text{for } 0 \leq x \leq 1 \\ 2^x \pi^{x-1} \sin\left(\frac{\pi x}{2}\right) \Gamma(1-x) \zeta(1-x), & \text{for } x < 0 \end{cases}$$

$x \leq 0$ 。

第9章

その他の標準ライブラリ

本章は C++17 の追加の細則の解説。

9.1 ハードウェア干渉サイズ（キャッシュライン）

C++17 はハードウェア干渉の取得をサポートする。ハードウェア干渉のサイズ、俗にキャッシュライン（cache line）と呼ばれる概念。

残念ながら、2017 年現在、ハードウェアの遅延は、ハードウェアの高速な動作を意図している。ハードウェアの動作の程度は、ハードウェアの数単位で行われる。ハードウェアの動作は、ハードウェアの実装依存。C++17 はハードウェアの取得をサポートする。

ハードウェア干渉の理由 2 通り。2 通りのハードウェアの同一局所性を持つハードウェアの動作の場合、2 通りのハードウェアの動作。

2 通りのハードウェアの動作、一方は頻繁に変更、一方はハードウェアの変更の場合、2 通りのハードウェアの動作の局所性を持つハードウェアの動作、ハードウェアの変更の動作、ハードウェアの同期が発生。

```
struct Data
{
    int counter ;
    int status ;
};
```

ハードウェア、counter は頻繁に変更、status はハードウェアの変更の場合、counter と status の間、適切なハードウェアの挿入、2 通りのハードウェアの動作の局所性を持つハードウェアの動作。

第9章 其他標準庫

場合、`std::hardware_destructive_interference_size` を使。

```
struct Data
{
    int counter ;
    std::byte padding[
        std::hardware_destructive_interference_size - sizeof(int)
    ] ;
    int status ;
};
```

反対、2 個の同一局所性を持つメモリを載せる場合、`std::hardware_constructive_interference_size` を使。

メモリ干渉 <new> 以下に定義。

```
namespace std {
    inline constexpr size_t
        hardware_destructive_interference_size = 実装依存 ;
    inline constexpr size_t
        hardware_constructive_interference_size = 実装依存 ;
}
```

9.2 `std::uncaught_exceptions`

C++14 の、`catch` 例外の場合、`bool std::uncaught_exception()` を判定。

```
struct X
{
    ~X()
    {
        if ( std::uncaught_exception() )
        {
            // 例外発生中に呼ばれる
        }
        else
        {
            // 通常破棄
        }
    }
}
```



```

    } ;

    int main()
    {
        {
            X x ;
        } // 通常に破棄

        {
            X x ;
            throw 0 ;
        } // 例外が catch されていない中

    }

```

`bool std::uncaught_exception()` は、C++17 には非推奨扱いになっている。この関数は廃止の見込がある。

廃止の理由としては、単に以下に示すような例に役立たないからである。

```

struct X
{
    ~X()
    {
        try {
            // true
            bool b = std::uncaught_exception() ;
        } catch( ... ) { }
    }
} ;

```

このように、`int std::uncaught_exceptions()` は新しい関数追加になっている。この関数は現在 `catch` している例外の個数を返す。

```

struct X
{
    ~X()
    {
        try {
            if ( int x = std::uncaught_exceptions() ; x > 1 )
            {
                // 例外が 2 以上発生している例外
            }
        }
    }
} ;

```

第 9 章 他標準ライブラリ

```

        } catch( ... )
    }

};

```

9.3 apply : tuple の要素を実引数に関数を呼び出す

```

template <class F, class Tuple>
constexpr decltype(auto) apply(F&& f, Tuple&& t);

```

std::apply は tuple の要素の順番を実引数に渡して関数を呼び出す関数。

要素数 N の tuple t に関数 f に対して、apply(f, t) は、f(get<0>(t), get<1>(t), ... , get<N-1>(t)) として f を関数呼び出す。

例：

```

template < typename ... Types >
void f( Types ... args ) { }

int main()
{
    // int, int, int
    std::tuple t1( 1,2,3 ) ;

    // f( 1, 2, 3 ) を関数呼び出す
    std::apply( f, t1 ) ;

    // int, double, const char *
    std::tuple t2( 123, 4.56, "hello" ) ;

    // f( 123, 4.56, "hello" ) を関数呼び出す
    std::apply( f, t2 ) ;
}

```

9.4 Searcher : 検索

C++17 の `<functional>` に `searcher` の名前空間を追加した。順序集合、部分集合 (区間) の検索、最も一般的な応用例文字列検索。

`searcher` 基本的な設計、名前空間の構築、区間検索部分集合 (区間) の `&`、`operator ()` 部分集合の検索集合と。

設計を追加した理由、区間検索の何事前準備状態保持の検索の実装。

9.4.1 default_searcher

`std::default_searcher` 以下に宣言した。

```
template < class ForwardIterator1,
            class BinaryPredicate = equal_to<> >
class default_searcher {
public:
    // 区間検索
    default_searcher(
        ForwardIterator1 pat_first, ForwardIterator1 pat_last
        , BinaryPredicate pred = BinaryPredicate() ) ;

    // operator ()
    template <class ForwardIterator2>
    pair<ForwardIterator2, ForwardIterator2>
    operator()(ForwardIterator2 first, ForwardIterator2 last) const ;
};
```

区間部分集合の受取。 `operator ()` 集合の受取、部分集合 (区間) の一致の場所の返。見の場合、`[last, last)` の返。

以下に使用。

```
int main()
{
    std::string pattern("fox") ;
    std::default_searcher
```

第 9 章 其他標準庫函數

```

        fox_searcher( std::begin(pattern), std::end(pattern) ) ;

        std::string corpus = "The quick brown fox jumps over the lazy dog" ;

        auto[first, last] = fox_searcher( std::begin(corpus),
                                          std::end(corpus) ) ;

        std::string fox( first, last ) ;
    }

```

default_searcher 檢索、内部的 std::search 使用。

9.4.2 boyer_moore_searcher

std::boyer_moore_searcher Boyer-Moore 文字列檢索使用部分集合檢索行。

Boyer-Moore 文字列檢索極效率的文字列檢索。Boyer-Moore Bob Boyer Strother Moore 發明、1977 年 Communications of the ACM 發表。內容以下 URL 讀。

<http://www.cs.utexas.edu/~moore/publications/fstrpos.pdf>

愚直実装文字列檢索檢索部分文字列（）檢索対象文字列（）探際、先頭文字先頭順探、見 2 文字目以降一致調。

Boyer-Moore 末尾文字調。文字一致、絶対不一致長文字比較読飛。效率的文字列檢索實現。

Boyer-Moore 事前文字不一致何文字比較読飛情報計算 2 生成必要。、Boyer-Moore 使用量檢索前準備時間、效率的檢索相殺。特、長場合効果的。

C++17 入 Boyer-Moore 基檢索、使用汎用的 char 型状態数少型対実装、使用使、任意型対応設計。

boyer_moore_searcher 以下宣言。

```
template <
```

```

class RandomAccessIterator1,
class Hash = hash<
    typename iterator_traits<RandomAccessIterator1>::value_type>,
class BinaryPredicate = equal_to<> >
class boyer_moore_searcher {
public:
    // 関数型オブジェクト
    boyer_moore_searcher(
        RandomAccessIterator1 pat_first,
        RandomAccessIterator1 pat_last,
        Hash hf = Hash(),
        BinaryPredicate pred = BinaryPredicate() ) ;

    // operator ()
    template <class RandomAccessIterator2>
    pair<RandomAccessIterator2, RandomAccessIterator2>
    operator()( RandomAccessIterator2 first,
                RandomAccessIterator2 last) const;
};

```

boyer_moore_searcher は、文字列以外に適用可能な汎用的な設計、関数型関数を取る。char 型に適用可能な状態数少ない型以外に渡す場合、std::unordered_map を使用量削減のために何らかの構造体を使用する。

使用法 default_searcher を変える。

```

int main()
{
    std::string pattern("fox") ;
    std::boyer_moore_searcher
        fox_searcher( std::begin(pattern), std::end(pattern) ) ;

    std::string corpus = "The quick brown fox jumps over the lazy dog" ;

    auto[first, last] = fox_searcher( std::begin(corpus),
                                      std::end(corpus) ) ;
    std::string fox( first, last ) ;
}

```

第 9 章 其他標準庫

9.4.3 boyer_moore_horspool_searcher

`std::boyer_moore_horspool_searcher` Boyer–Moore–Horspool 検索器。部分集合検索を行う。Boyer–Moore–Horspool 検索器は Nigel Horspool が 1980 年に発表した。

参考：“Practical fast searching in strings” 1980

Boyer–Moore–Horspool 検索器は内部に Boyer–Moore 検索器の使用量を削減し、最悪計算量を点検 Boyer–Moore 検索器の劣化。実時間増大犠牲使用量を削減する言。

`boyer_moore_horspool_searcher` 宣言以下。

```
template <
    class RandomAccessIterator1,
    class Hash = hash<
        typename iterator_traits<RandomAccessIterator1>::value_type>,
    class BinaryPredicate = equal_to<> >
    class boyer_moore_horspool_searcher {
public:
    // 構造体
    boyer_moore_horspool_searcher(
        RandomAccessIterator1 pat_first,
        RandomAccessIterator1 pat_last,
        Hash hf = Hash(),
        BinaryPredicate pred = BinaryPredicate() );

    // operator ()
    template <class RandomAccessIterator2>
    pair<RandomAccessIterator2, RandomAccessIterator2>
    operator()( RandomAccessIterator2 first,
                RandomAccessIterator2 last) const;
};
```

使用方 `boyer_moore_horspool_searcher` 変。

```
int main()
{
    std::string pattern("fox") ;
    std::boyer_moore_horspool_searcher
        fox_searcher( std::begin(pattern), std::end(pattern) ) ;
```

9.5 sample : 乱択アルゴリズム

要素集合、 n 個要素確率の公平な選択の場合使われる。

第 9 章 其他標準

各值集合、各集合の n 個標本を得、集合の各値等確率選 n 個選択。

`std::sample` 使用、100 個值 10 個標本得、以下書可能。

```
int main()
{
    // 100 個値集合
    std::vector<int> pop(100) ;
    std::iota( std::begin(pop), std::end(pop), 0 ) ;

    // 標本格納
    std::vector<int> out(10) ;

    // 乱数生成器
    std::array<std::uint32_t, sizeof(std::knuth_b)/4> a ;
    std::random_device r ;
    std::generate( std::begin(a), std::end(a), [&]{ return r() ; } ) ;
    std::seed_seq seed( std::begin(a), std::end(a) ) ;
    std::knuth_b g( seed ) ;

    // 10 個標本得
    sample( std::begin(pop), std::end(pop), std::begin(out), 10, g ) ;

    // 標本出力
    std::copy( std::begin(out), std::end(out),
               std::ostream_iterator<int>(std::cout, ", " ) ) ;
}
```

集合含個值數 N 個、個值 n/m 確率選個。100 個中 10 個選、 $1/10$ 確率個值標本選。

考基乱択以下。

1. 集合要素数 N 、選択標本数 $n, i = 0$ 。
2. $0 \leq i \leq n/m$ 番目値 n/m 確率標本選択。
3. $i \leq n/m$ 。
4. $i \neq N$ goto 2。

9.5 sample : 乱択

以下は乱択のサンプルコード。

```
template < class PopulationIterator, class SampleIterator,
           class Distance, class UniformRandomBitGenerator >
SampleIterator sample(
    PopulationIterator first, PopulationIterator last,
    SampleIterator out,
    Distance n, UniformRandomBitGenerator&& g)
{
    auto N = std::distance( first, last ) ;

    // 確率 n/N に true を返す二項分布
    double probability = double(n)/double(N) ;
    std::bernoulli_distribution d( probability ) ;

    // 乱択値の対
    std::for_each( first, last,
        [&]( auto && value )
        {
            if ( d(g) )
            { // n/N に確率に標本を1つ選択
                *out = value ;
                ++out ;
            }
        } ) ;

    return out ;
}
```

残念なことに、このコードは正しく動作しない。例えば、100 個の値の集合から 10 個の標本を選択する。この時、選択した標本の数を実行回数を異にする。つまり、標本数の平均の 10 個選択の期待値、運が悪ければ 0 個、100 個の標本を選択する可能性もある。

例えば、TAOCP Vol. 2 の乱択、乱択した標本数の標準偏差は $\sqrt{n(1-n/N)}$ である。

正しく動作するコード、要素の集合から $(t+1)$ 番目の要素、つまり m 個の要素を標本として選択する、 $(n-m)(N-t)$ の確率で選択される。

第9章 他標準

9.5.2 アルゴリズム S：選択標本、要素数がわかっている集合からの標本の選択

Knuth の TAOCP Vol. 2 の、アルゴリズム S 名称、要素数 N の集合から標本選択の方法解説。

アルゴリズム S 以下。

$0 < n \leq N$ 、 N 個の集合から n 個の標本を選択。

1. $t, m \leftarrow 0$ 。 t は処理した要素数、 m は標本選択した要素数。
2. $0 \leq U \leq N - t$ 範囲の乱数 U を生成。
3. $U \geq n - m$ なら goto 5。
4. 次の要素を標本を選択。 $m \leftarrow t + 1$ 。 $m < n$ なら、goto 2。 標本完了なら終了。
5. 次の要素を標本を選択。 $t \leftarrow t + 1$ 。 goto 2。

実装以下。

```
template < class PopulationIterator, class SampleIterator,
           class Distance, class UniformRandomBitGenerator >
SampleIterator
sample_s(
    PopulationIterator first, PopulationIterator last,
    SampleIterator out,
    Distance n, UniformRandomBitGenerator&& g)
{
    // 1.
    Distance t = 0 ;
    Distance m = 0 ;
    const auto N = std::distance( first, last ) ;

    auto r = [&]{
        std::uniform_int_distribution<> d(0, N-t) ;
        return d(g) ;
    } ;

    while ( m < n && first != last )
    {
        // 2. 3.
        if ( r() >= n - m )
        { // 5.
```

9.5 sample : 乱択法による標本の選択

```

        ++t ;
        ++first ;
    }
    else { // 4.
        *out = *first ;
        ++first ; ++out ;
        ++m ; ++t ;
    }
}

return out ;
}

```

9.5.3 アルゴリズム R : 保管標本、要素数がわからない集合からの標本の選択

集合 S が要素数 N 個の場合、 n 個の標本を選択する。ここで、 N がわからない場合、

現実 N の状況。

- 入力
- 提供された全部読込要素数の入力
- 入力

要素数の入力 S 適用、一度全部入力得、全体要素数確定上、全要素対 S 適用 2 段階方法使用。

1 段階要素巡回済。要素数入力処理、時点公平選択標本得。

R の状況使用。

R の、要素数要素集合 n 個の標本選択。標本選択要素保管、新入力与、標本選択判断、選択、保管既存標本置換。

R の以下 (Knuth 本違)。

$n > 0$ 、 $size \geq n$ 未確定 $size$ 個要素持入力、 n 個の標本選択。標本候補 n 個保管。 $1 \leq j \leq n$ $I[j]$ 保管標本指。

第9章 他標準ライブラリ

1. 入力最初 n 個標本を選択、保管。 $1 \leq j \leq n$ 範囲 $I[j]$ j 番目標本保管。 t 値 n まで。 $I[1], \dots, I[n]$ 現在標本指。 t 現在処理入力個数指。
2. 入力終了。終了。
3. t 範囲 $1 \leq M \leq t$ 乱数 M 生成。 $M > n$ まで goto 5。
4. 次入力 $I[M]$ 保管。 goto 2。
5. 次入力保管。 goto 2。

実装以下。

```
template < class PopulationIterator, class SampleIterator,
           class Distance, class UniformRandomBitGenerator >

SampleIterator sample_r(
    PopulationIterator first, PopulationIterator last,
    SampleIterator out,
    Distance n, UniformRandomBitGenerator&& g)
{
    Distance t = 0 ;

    auto result = out ;

    for ( ; (first != last) && (t != n) ; ++first, ++t, ++result )
    {
        out[t] = *first ;
    }

    if ( t != n )
        return result ;

    auto I = [&](Distance j) -> decltype(auto) { return out[j-1] ; } ;

    while ( first != last )
    {
        ++t ;
        std::uniform_int_distribution<Distance> d( 1, t ) ;
        auto M = d(g) ;
```

9.5 sample : 乱択

```

        if ( M > n )
        {
            ++first ;
        }
        else {
            I(M) = *first ;
            ++first ;
        }
    }

    return result ;
}

```

9.5.4 C++ の sample

この説明、乱択の2種類。入力要素数の場合S（選択標本）、入力要素数の場合R（保管標本）。

、C++ 追加の乱択関数の宣言、説明以下1。並列に対応。

```

template<
    class PopulationIterator, class SampleIterator,
    class Distance, class UniformRandomBitGenerator >
SampleIterator
sample(
    PopulationIterator first, PopulationIterator last,
    SampleIterator out,
    Distance n, UniformRandomBitGenerator&& g) ;

```

[first, last) 標本選択先集合指。out 標本出力先。n 選択標本個数。g 標本選択使乱数生成器。戻値 out。

sample PopulationIterator SampleIterator、使判断。

S（選択標本）使場合、PopulationIterator 前方、SampleIterator 出力満。

R（保管標本）使場合、PopulationIterator 入力、SampleIterator 満。

、要素数取得、入力元

第9章 他標準ライブラリ

`PopulationIterator` `[first, last)` 要素数を得る必要はない、`PopulationIterator` 前方範囲を満たす場合、選択した標本を出力する、出力先 `SampleIterator` 出力範囲を満たす。

入力元 `PopulationIterator` 入力範囲を満たす場合、`PopulationIterator` `[first, last)` 要素数を得る、要素数を用いて `R` (保管標本) 選択を得る。場合、入力処理を連続、新しい選択した標本を既存の標本に上書き、出力先 `SampleIterator` 範囲を満たす必要はない。

```
int main()
{
    std::vector<int> input ;

    std::knuth_b g ;

    // PopulationIterator 前方範囲を満たす
    // SampleIterator 出力範囲を満たす
    std::sample( std::begin(input), std::end(input),
                 std::ostream_iterator<int>(std::cout), 100
                 g ) ;

    std::vector<int> sample(100) ;

    // PopulationIterator 入力範囲を満たす
    // SampleIterator 範囲を満たす必要
    std::sample(
        std::istream_iterator<int>(std::cin),
        std::istream_iterator<int>{},
        std::begin(sample), 100, g ) ;

}
```

注意 必要はない、C++ `sample` 入力元 `PopulationIterator` 前方範囲以上を満たす場合、必ず `S` (選択標本) を使用する。範囲、要素数を得る `std::distance(first, last)` 行の意味。処理は非効率の範囲を渡す場合、必要以上非効率の範囲を渡す。

以下、

9.5 sample : 乱択

```
int main()
{
    std::list<int> input(10000) ;
    std::list<int> sample(100) ;
    std::knuth_b g ;

    std::sample(    std::begin(input), std::end(input),
                   std::begin(sample), 100, g ) ;
}
```

以下コード意味保持。

```
int main()
{
    std::list<int> input(10000) ;
    std::list<int> sample(100) ;
    std::knuth_b g ;

    std::size_t count = 0 ;

    // 要素数取得
    // 非効率的
    for( auto && e : input )
    { ++count ; }

    // 標本選択
    for ( auto && e : input )
    { /* 標本選択 */ }
}
```

std::list の関数 size は定数時間保証、
 要素数渡実引数要素数全走査の場合、非効率的の処理行。

範囲標本選択の場合、範囲指要素数場合、自前 S 実装効率。

```
template < class PopulationIterator, class SampleIterator,
           class Distance, class UniformRandomBitGenerator >
```

第9章 他標準ライブラリ

```

SampleIterator
sample_s(
    PopulationIterator first, PopulationIterator last,
    Distance size,
    SampleIterator out,
    Distance n, UniformRandomBitGenerator&& g)
{
    // 1.
    Distance t = 0 ;
    Distance m = 0 ;
    const auto N = size ;

    auto r = [&]{
        std::uniform_int_distribution<> d(0, N-t) ;
        return d(g) ;
    } ;

    while ( m < n && first != last )
    {
        // 2. 3.
        if ( r() >= n - m )
        { // 5.
            ++t ;
            ++first ;
        }
        else { // 4.
            *out = *first ;
            ++first ; ++out ;
            ++m ; ++t ;
        }
    }

    return out ;
}

```

9.6 `shared_ptr<T[]>` : 配列に対する `shared_ptr`

C++17 から、`shared_ptr` が配列に対応。

```
int main()
```



```

{
    // 配列対応 shared_ptr
    std::shared_ptr< int [] > ptr( new int[5] ) ;

    // operator [] 配列添字
    ptr[0] = 42 ;

    // shared_ptr delete[] 呼出
}

```

9.7 as_const : const 性の付与

as_const 関数 <utility> 定義。

```

template <class T> constexpr add_const_t<T>& as_const(T& t) noexcept
{
    return t ;
}

```

as_const 引数 lvalue 変数 const lvalue 変数関数。const 性の付与を手軽に関数使用。

```

// 1
template < typename T >
void f( T & ) {}
// 2、関数呼出
template < typename T >
void f( T const & ) { }

int main()
{
    int x{} ;

    f(x) ; // 1

    // const 付与冗長方法
    int const & ref = x ;
    f(ref) ; // 2
}

```

第9章 他標準ライブラリ

```
// 簡潔
f( std::as_const(x) ) ; // 2
}
```

9.8 make_from_tuple : tuple の要素を実引数にコンストラクターを呼び出す

make_from_tuple 関数は <tuple> を定義する。

```
template <class T, class Tuple>
constexpr T make_from_tuple(Tuple&& t);
```

apply 関数、tuple の要素を実引数に関数を呼び出す関数、make_from_tuple 関数、tuple の要素を実引数に呼び出す関数。

型 T の要素数 N の tuple t に対して、make_from_tuple<T>(t) は、T 型の T(get<0>(t), get<1>(t), ... , get<N-1>(t)) を構築し、構築した T 型を返す。

```
class X
{
    template < typename ... Types >
    T( Types ... ) { }
};

int main()
{
    // int, int, int
    std::tuple t1(1,2,3) ;

    // X(1,2,3)
    X x1 = std::make_from_tuple<X>( t1 )

    // int, double, const char *
    std::tuple t2( 123, 4.56, "hello" ) ;

    // X(123, 4.56, "hello")
    X x2 = std::make_from_tuple<X>( t2 ) ;
}
```


第9章 他標準ライブラリ

```

        // s.*&S::data
        std::invoke( &S::data, s );
    }

```

9.10 not_fn : 戻り値の否定ラッパー

not_fn は <functional> に定義されている。

```
template <class F> unspecified not_fn(F&& f);
```

関数 f に対して not_fn(f) を呼出、戻り値が何らかの関数
が返す。関数が呼出、実引数 f を渡す
f が関数呼出、戻り値 operator ! が否定返す。

```

int main()
{
    auto r1 = std::not_fn( []{ return true ; } );

    r1() ; // false

    auto r2 = std::not_fn( []( bool b ) { return b ; } );

    r2(true) ; // false
}

```

廃止予定 not1, not2 の代替品。

9.11 メモリー管理アルゴリズム

C++17 は <memory> にメモリー管理用アルゴリズムを追加
した。

9.11.1 addressof

```
template <class T> constexpr T* addressof(T& r) noexcept;
```

addressof は C++17 以前にはなかった。addressof(r) は r が取得
可能、r の型 operator & が正しく取得

9.11 `管理`

得。

```
struct S
{
    S * operator &() const noexcept
    { return nullptr ; }
} ;

int main()
{
    S s ;

    // nullptr
    S * p1 = & s ;
    // 妥当
    S * p2 = std::addressof(s) ;

}
```

9.11.2 `uninitialized_default_construct`

```
template <class ForwardIterator>
void uninitialized_default_construct(
    ForwardIterator first, ForwardIterator last);

template <class ForwardIterator, class Size>
ForwardIterator uninitialized_default_construct_n(
    ForwardIterator first, Size n);
```

[first, last) 範囲、`first` から `n` 個の範囲を初期化。
`typename iterator_traits<ForwardIterator>::value_type` を初期化。
 2 目 `first` から `n` 個の範囲を初期化。

```
int main()
{
    std::shared_ptr<void> raw_ptr
    (    ::operator new( sizeof(std::string) * 10 ),
        [](void * ptr){ ::operator delete(ptr) ; } ) ;

    std::string * ptr = static_cast<std::string *>( raw_ptr.get() ) ;
```

第 9 章 其他標準庫函數

```

        std::uninitialized_default_construct_n( ptr, 10 ) ;
        std::destroy_n( ptr, 10 ) ;
    }

```

9.11.3 uninitialized_value_construct

```

template <class ForwardIterator>
void uninitialized_value_construct(
    ForwardIterator first, ForwardIterator last);

template <class ForwardIterator, class Size>
ForwardIterator uninitialized_value_construct_n(
    ForwardIterator first, Size n);

```

使方 `uninitialized_default_construct` 同。、`uninitialized_value_construct` 初期化值初期化。

9.11.4 uninitialized_copy

```

template <class InputIterator, class ForwardIterator>
ForwardIterator
uninitialized_copy( InputIterator first, InputIterator last,
    ForwardIterator result);

template <class InputIterator, class Size, class ForwardIterator>
ForwardIterator
uninitialized_copy_n( InputIterator first, Size n,
    ForwardIterator result);

```

`[first, last)` 範圍、`first` 個範圍值、`result` 指未初期化構築。

```

int main()
{
    std::vector<std::string> input(10, "hello") ;

    std::shared_ptr<void> raw_ptr
    (    ::operator new( sizeof(std::string) * 10 ),
        [](void * ptr){ ::operator delete(ptr) ; } ) ;

    std::string * ptr = static_cast<std::string *>( raw_ptr.get() ) ;
}

```

9.11 内存管理

```

std::uninitialized_copy_n( std::begin(input), 10, ptr ) ;
std::destroy_n( ptr, 10 ) ;
}

```

9.11.5 uninitialized_move

```

template <class InputIterator, class ForwardIterator>
ForwardIterator
uninitialized_move( InputIterator first, InputIterator last,
                  ForwardIterator result);

template <class InputIterator, class Size, class ForwardIterator>
pair<InputIterator, ForwardIterator>
uninitialized_move_n( InputIterator first, Size n,
                   ForwardIterator result);

```

使用方 `uninitialized_copy` 同。详细见。

9.11.6 uninitialized_fill

```

template <class ForwardIterator, class T>
void uninitialized_fill(
    ForwardIterator first, ForwardIterator last,
    const T& x);

template <class ForwardIterator, class Size, class T>
ForwardIterator uninitialized_fill_n(
    ForwardIterator first, Size n,
    const T& x);

```

`[first, last)` 范围、`first` 后 `n` 个范围未初始化、`uninitialized_fill` 实引数 `x` 与`T` 构造。

9.11.7 destroy

```

template <class T>
void destroy_at(T* location);

location->~T() 呼出。

```

第 9 章 其他標準庫

```
template <class ForwardIterator>
void destroy(ForwardIterator first, ForwardIterator last);

template <class ForwardIterator, class Size>
ForwardIterator destroy_n(ForwardIterator first, Size n);

[first, last) 範圍、first n 個範圍 destroy_at 呼出。
```

9.12 `shared_ptr::weak_type`

C++17 的 `shared_ptr` 的 `weak_type` 型名追加。 `shared_ptr` 对 `weak_ptr` 的 `typedef` 名。

```
namespace std {

template < typename T >
class shared_ptr
{
    using weak_type = weak_ptr<T> ;
} ;

}
```

使用方：

```
template < typename Shared_ptr >
void f( Shared_ptr sptr )
{
    // C++14
    auto wptr1 = std::weak_ptr<
        typename Shared_ptr::element_type
    >( sptr ) ;

    // C++17
    auto wptr2 = typename Shared_ptr::weak_type( sptr ) ;
}
```


9.13 void_t

`<type_traits>` は定義済み `void_t` 以下に定義済み。

```
namespace std {

template < class ... >
using void_t = void ;

}
```

`void_t` は任意個の型を実引数として取り `void` 型。性質は `std::is_void_v`、標準に追加。

9.14 bool_constant

`<type_traits>` は `bool_constant` を追加。

```
template <bool B>
using bool_constant = integral_constant<bool, B>;

using true_type = bool_constant<true>;
using false_type = bool_constant<false>;
```

今 `integral_constant` は `bool` 型が必要な場面、C++17 以降 `std::true_type` と `std::false_type` を書く。

9.15 type_traits

C++17 は `<type_traits>` の機能を追加。

9.15.1 変数テンプレート版 traits

C++17 は、既存の `traits` を変数テンプレート版 `_v` 版を追加。

例、`is_integral<T>::value` を `is_integral_v<T>` と書く。

第 9 章 其他標準庫

```

template < typename T >
void f( T x )
{
    constexpr bool b1 = std::is_integral<T>::value ; // 常數
    constexpr bool b2 = std::is_integral_v<T> ; // 變數
    constexpr bool b3 = std::is_integral<T>{} ; // operator bool()
}

```

9.15.2 論理演算 traits

C++17 提供了 `conjunction`, `disjunction`, `negation` 等追加的。這些是論理積、論理和、否定等手輕的 traits。

conjunction : 論理積

```

template<class... B> struct conjunction;

```

`conjunction<B1, B2, ..., BN>` 實引數 `B1, B2, ..., BN` 論理積適用。 `conjunction` 實引數 `Bi` 對 `bool(Bi::value)` 為 `false` 最初型基本保持、最後 `BN` 基本保持。

```

int main()
{
    using namespace std ;

    // is_void<void> 基本保持
    using t1 =
        conjunction<
            is_same<int, int>, is_integral<int>,
            is_void<void> > ;

    // is_integral<double> 基本保持
    using t2 =
        conjunction<
            is_same<int, int>, is_integral<double>,
            is_void<void> > ;
}

```

disjunction : 論理和

```
template<class... B> struct disjunction;
```

`disjunction<B1, B2, ..., BN>` 実引数 `B1, B2, ..., BN` の論理和に適用。 `disjunction` 実引数 `Bi` に対して `bool(Bi::value)` が `true` の最初型が基本型として保持、その後 `BN` が基本型として保持。

```
int main()
{
    using namespace std ;

    // is_same<int,int>が基本型として保持
    using t1 =
        disjunction<
            is_same<int, int>, is_integral<int>,
            is_void<void> > ;

    // is_void<int>が基本型として保持
    using t2 =
        disjunction<
            is_same<int, double>, is_integral<double>,
            is_void<int> > ;
}
```

negation : 否定

```
template<class B> struct negation;
```

`negation` `B` の否定に適用。 `negation` が基本型として `bool_constant<!bool(B::value)>` を保持。

```
int main()
{
    using namespace std ;

    // false
    constexpr bool b1 = negation< true_type >::value ;
    // true
    constexpr bool b2 = negation< false_type >::value ;
}
```

第9章 他標準ライブラリ

9.15.3 `is_invocable` : 呼び出し可能を確認する traits

```

template <class Fn, class... ArgTypes>
struct is_invocable;

template <class R, class Fn, class... ArgTypes>
struct is_invocable_r;

template <class Fn, class... ArgTypes>
struct is_nothrow_invocable;

template <class R, class Fn, class... ArgTypes>
struct is_nothrow_invocable_r;

```

`is_invocable` は実引数と型 `Fn` の `ArgTypes` を展開し、結果として実引数関数呼び出しの結果、戻り値 `R` の暗黙変換を確認する traits。呼び出し可能な型 `true_type`、不可能な型 `false_type` を基本として持つ。

`is_invocable` は関数呼び出しの結果として戻り値型を問わない。

`is_invocable_r` は呼び出し可能性に加え、関数呼び出しの結果として戻り値型 `R` の暗黙変換を確認する。

`is_nothrow_invocable` は `is_nothrow_invocable_r`、関数呼び出し（戻り値型 `R` の暗黙変換）が無例外保証を確認する。

```

int f( int, double );

int main()
{
    // true
    constexpr bool b1 =
        std::is_invocable< decltype(&f), int, double >{} ;
    // true
    constexpr bool b2 =
        std::is_invocable< decltype(&f), int, int >{} ;

    // false
    constexpr bool b3 =
        std::is_invocable< decltype(&f), int >{} ;
    // false
    constexpr bool b4 =

```

```

std::is_invocable< decltype(&f), int, std::string >{} ;

// true
constexpr bool b5 =
    std::is_invocable_r< int, decltype(&f), int, double >{} ;
// false
constexpr bool b6 =
    std::is_invocable_r< double, decltype(&f), int, double >{} ;
}

```

9.15.4 has_unique_object_representations : 同値の内部表現が同一か確認する traits

```

template <class T>
struct has_unique_object_representations ;

```

has_unique_object_representations<T> 型 T の型が、T 型の値の内部表現が同一の場合、true を返す。

false を返す例として、padding (padding) を呼ぶ調整値の表現が影響を及ぼす領域を持つ場合、調整値の同値に影響を及ぼす、false を返す。

以下に X を、

```

struct X
{
    std::uint8_t a ;
    std::uint32_t b ;
} ;

```

実装として、4 バイトの内部表現が必要、padding を呼ぶ調整値の同値に影響を及ぼす領域を持つ場合、false を返す。

```

struct X
{
    std::uint8_t a ;

    std::byte unused_padding[3] ;

    std::uint32_t b ;
} ;

```

第9章 他標準ライブラリ

場合、`unused_padding` 値の意味、`x` 同値比較用。場合、`std::has_unique_representations_v<X>` `false`。

9.15.5 `is_nothrow_swappable` : 無例外 `swap` 可能を確認する traits

```
template <class T>
struct is_nothrow_swappable;

template <class T, class U>
struct is_nothrow_swappable_with;
```

`is_nothrow_swappable<T>` `T` 型 `swap` 例外投 `true` 返。
`is_nothrow_swappable_with<T, U>` `T` 型 `U` 型相互 `swap` 例外投 `true` 返。

9.16 コンテナで不完全型のサポート

注意：説明上級者向。

C++17 以下 `std::vector` 合法。挙動 C++14 実装依存。

```
struct X
{
    std::vector<X> v ;
    std::list<X> l ;
    std::forward_list<X> f ;
};
```

定義終了 `}` 持完全型。注入名、定義中完全型。不完全型要素型指定場合挙動、C++14 規定。

C++17 `vector`, `list`, `forward_list` 限、要素型一時的不完全型許。実際使用際完全型。

9.17 `emplace` の戻り値

C++17 `emplace_front`/`emplace_back`, `queue` `stack` `emplace` 構築要素返変更。

例として、C++14 以下で書かれたコード、

```
int main()
{
    std::vector<int> v ;

    v.emplace_back(0) ; // void
    int value = v.back() ;
}
```

以下で書かれたコード。

```
int main()
{
    std::vector<int> v ;

    int value = v.emplace_back(0) ;
}
```

9.18 map と unordered_map の変更

map と unordered_map の try_emplace と insert_or_assign の 2 つの関数関入関数。関数関数関数関数 multi_map と unordered_multi_map の追加関数関数。

9.18.1 try_emplace

```
template <class... Args>
pair<iterator, bool>
try_emplace(const key_type& k, Args&&... args);

template <class... Args>
iterator
try_emplace(
    const_iterator hint,
    const key_type& k, Args&&... args);
```

従来は emplace の、関数関数関数要素が存在する場合、要素 args を emplace 構築して追加。関数、関数関数関数要素が存在する場合、要素を追加。要素追加関数関数、args 関数関数関数関数関数実装定義

第9章 他標準

。

```
int main()
{
    std::map< int, std::unique_ptr<int> > m ;

    // 要素が存在
    m[0] = nullptr ;

    auto ptr = std::make_unique<int>(0) ;
    // emplace 失敗
    auto [iter, is_emplaced] = m.emplace( 0, std::move(ptr) ) ;

    // 結果実装異
    // ptr 参照保持
    bool b = ( ptr != nullptr ) ;
}
```

場合、実際 map 要素追加、ptr 参照保持。

、C++17 、要素追加場合 args 保証 try_emplace 追加。

```
int main()
{
    std::map< int, std::unique_ptr<int> > m ;

    // 要素が存在
    m[0] = nullptr ;

    auto ptr = std::make_unique<int>(0) ;
    // emplace 失敗
    auto [iter, is_emplaced] = m.emplace( 0, std::move(ptr) ) ;

    // true 保証
    // ptr 参照保持
    bool b = ( ptr != nullptr ) ;
}
```

9.18.2 insert_or_assign


```
template <class M>
pair<iterator, bool>
insert_or_assign(const key_type& k, M&& obj);
```

```
template <class M>
iterator
insert_or_assign(
    const_iterator hint,
    const key_type& k, M&& obj);
```

insert_or_assign 関数 key が連想コンテナ要素に存在する場合要素を代入し、存在しない場合要素を追加する。operator [] が違えば、要素を代入し追加する、戻り値は pair の bool 成分が true なら代入、false なら追加。

```
int main()
{
    std::map< int, int > m ;
    m[0] = 0 ;

    {
        // 代入
        // is_inserted が false
        auto [iter, is_inserted] = m.insert_or_assign( 0, 1 ) ;
    }

    {
        // 追加
        // is_inserted が true
        auto [iter, is_inserted] = m.insert_or_assign( 1, 1 ) ;
    }
}
```

9.19 連想コンテナへの splice 操作

C++17 から、連想コンテナ非順序連想コンテナ splice 操作が追加された。

対象コンテナは map, set, multimap, multiset, unordered_map, unordered_set, unordered_multimap, unordered_multiset である。

splice 操作は list コンテナ提供の splice 操作、互換 list コンテナ

第9章 其他標準容器

list 要素の所有権を別容器に移動する機能。

```
int main()
{
    std::list<int> a = {1,2,3} ;
    std::list<int> b = {4,5,6} ;

    a.splice( std::end(a), b, std::begin(b) ) ;

    // a {1,2,3,4}
    // b {5,6}

    b.splice( std::end(b), a ) ;

    // a {}
    // b {5,6,1,2,3,4}
}
```

連想容器、順序容器の仕組を用いて、list 要素の所有権を別容器に移動する外に出る仕組、splice 操作を行う。

9.19.1 merge

順序連想容器、非順序連想容器、関数 merge を持つ。順序容器 a, b を互換、a.merge(b) 、順序容器 b 要素の所有権を a に移す。

```
int main()
{
    std::set<int> a = {1,2,3} ;
    std::set<int> b = {4,5,6} ;

    // b 要素を a に移す
    a.merge(b) ;

    // a {1,2,3,4,5,6}
    // b {}
}
```

重複、重複を許す場合、値重複の場合、重複要素を移動する。

```
int main()
{
    std::set<int> a = {1,2,3} ;
    std::set<int> b = {1,2,3,4,5,6} ;

    a.merge(b) ;

    // a {1,2,3,4,5,6}
    // b {1,2,3}

}
```

merge は移動要素の指針を移動後、要素移動後妥当にする。指針、所属配列も変化する。

```
int main()
{
    std::set<int> a = {1,2,3} ;
    std::set<int> b = {4,5,6} ;

    auto iterator = std::begin(b) ;
    auto pointer = &*iterator ;

    a.merge(b) ;

    // iterator  pointer 妥当
    // 要素 a 所属

}
```

9.19.2 ノードハンドル

配列、要素構築、要素構築所有権切り離機能。

型、各型名 `node_type`。 `std::set<int>` 型、 `std::set<int>::node_type`。

以下保持。

```
class node_handle
{
public :
```

第 9 章 其他標準容器

```

// 型名
using value_type = ... ;      // set 限定、要素型
using key_type = ... ;        // map 限定、型
using mapped_type = ... ;      // map 限定、型
using allocator_type = ... ;   // 型

// 
// 
// 代入演算子

// 値
value_type & value() const ;    // set 限定
key_type & key() const ;        // map 限定
mapped_type & mapped() const ;  // map 限定

// 
allocator_type get_allocator() const ;

// 空判定
explicit operator bool() const noexcept ;
bool empty() const noexcept ;

void swap( node_handle & ) ;
};

set 関数 value 値得。

int main()
{
    std::set<int> c = {1,2,3} ;

    auto n = c.extract(2) ;

    // n.value() == 2
    // c {1,3}
}

map 関数 key mapped 値得。

int main()
{

```

9.19 連想型コンテナの splice 操作

```

std::map< int, int > m =
{
    {1,1}, {2,2}, {3,3}
} ;

auto n = m.extract(2) ;

// n.key() == 2
// n.mapped() == 2
// m ≒ {{1,1},{3,3}}

}

```

この操作は、指定した位置からコンテナを切り離し、所有権を得る。切り離されたコンテナは、元のコンテナから独立し、元のコンテナが破棄される際に破棄される。切り離されたコンテナは、元のコンテナが破棄されるまで破棄されない。切り離されたコンテナは、元のコンテナが破棄されるまで破棄されない。

```

int main()
{
    std::set<int>::node_type n ;

    {
        std::set<int> c = { 1,2,3 } ;
        // 所有権を移動
        n = c.extract( std::begin(c) ) ;
        // c を破棄
    }

    // OK
    // 切り離されたコンテナの所有権を移動
    int x = n.value() ;

    // n を破棄

}

```

9.19.3 extract : ノードハンドルの取得

```

node_type extract( const_iterator position ) ;
node_type extract( const key_type & x ) ;

```

第 9 章 其他標準容器

連想容器非順序連想容器關數 `extract`、取得關數。

關數 `extract(position)`、`position` 指要素、要素除去、要素所有關數返。

```
int main()
{
    std::set<int> c = {1,2,3} ;

    auto n1 = c.extract( std::begin(c) ) ;

    // c {2,3}

    auto n2 = c.extract( std::begin(c) ) ;

    // c {3}

}
```

關數 `extract(x)`、`x` 存在場合、要素除去、要素所有關數返。存在場合、空關數返。

```
int main()
{
    std::set<int> c = {1,2,3} ;

    auto n1 = c.extract( 1 ) ;
    // c {2,3}

    auto n2 = c.extract( 2 ) ;
    // c {3}

    // 4 存在
    auto n3 = c.extract( 4 ) ;
    // c {3}
    // n3.empty() == true
}
```

重複許場合、複數 1 所有權解放。

```
int main()
```

```

{
    std::multiset<int> c = {1,1,1} ;
    auto n = c.extract(1) ;
    // c {1,1}
}

```

9.19.4 insert : ノードハンドルから要素の追加

```

// 重複許す場合
insert_return_type insert(node_type&& nh);
// 重複許すmulti 場合
iterator insert(node_type&& nh);

// 付く insert
iterator insert(const_iterator hint, node_type&& nh);

```

関数 insert は実引数渡し、参照移動。所有権移動。

```

int main()
{
    std::set<int> a = {1,2,3} ;
    std::set<int> b = {4,5,6} ;

    auto n = a.extract(1) ;

    b.insert( std::move(n) ) ;

    // n.empty() == true
}

```

空の場合、何起。

```

int main()
{
    std::set<int> c ;
    std::set<int>::node_type n ;

    // 何起
    c.insert( std::move(n) ) ;
}

```

第9章 其他標準容器

重複許容容器、重複存在等値所有容器の insert 失敗。

```
int main()
{
    std::set<int> c = {1,2,3} ;

    auto n = c.extract(1) ;
    c.insert( 1 ) ;

    // 失敗
    c.insert( std::move(n) ) ;
}
```

第一引数 hint を受取る insert の挙動、従来 insert と同じ。要素 hint 直前追加償却定数時間処理終了。

実引数受取る insert の戻り値型、重複許容 multi 場合 iterator。重複許容場合、insert_return_type。

multi 場合、戻り値追加要素指。

```
int main()
{
    std::multiset<int> c { 1,2,3 } ;

    auto n = c.extract( 1 ) ;

    auto iter = c.insert( n ) ;

    // c {1,2,3}
    // iter 1 指
}
```

重複許容場合、insert_return_type 戻り値型。set<int> 場合、set<int>::insert_return_type。

insert_return_type 具体的名前規格上規定。insert_return_type 以下保持型。

```
struct insert_return_type
{
```



```

        iterator position ;
        bool inserted ;
        node_type node ;
    } ;

```

position へ insert した要素の所有権移動は追加した要素の指針、inserted は要素の追加が行われた場合 true 又は bool, node は要素の追加失敗時の所有権移動の指針。

insert は渡した空、inserted は false, position は end(), node は空。

```

int main()
{
    std::set<int> c = {1,2,3} ;
    std::set<int>::node_type n ; // 空

    auto [position, inserted, node] = c.insert( std::move(n) ) ;

    // inserted == false
    // position == c.end()
    // node.empty() == true
}

```

insert は成功、inserted は true, position は追加した要素の指針、node は空。

```

int main()
{
    std::set<int> c = {1,2,3} ;
    auto n = c.extract(1) ;

    auto [position, inserted, node] = c.insert( std::move(n) ) ;

    // inserted == true
    // position == c.find(1)
    // node.empty() == true
}

```

insert は失敗、同一の要素が存在、inserted は false, node は insert 呼出前の値、position は

第9章 他標準ライブラリ

本章で追加した等要素指針。insert 渡した要素の値が未規定値。

```
int main()
{
    std::set<int> c = {1,2,3} ;
    auto n = c.extract(1) ;
    c.insert(1) ;

    auto [position, inserted, node] = c.insert( std::move(n) ) ;

    // n 未規定値
    // inserted == false
    // node  insert( std::move(n) ) 呼出前 n 値
    // position == c.find(1)
}
```

規格の場合 n 値は規定通り、最終的に実装済み、n node の空、その後状態。

9.19.5 ノードハンドルの利用例

典型的な使い方以下。

再確保、一部要素別移動

```
int main()
{
    std::set<int> a = {1,2,3} ;
    std::set<int> b = {4,5,6} ;

    auto n = a.extract(1) ;
    b.insert( std::move(n) ) ;
}
```

寿命超要素存続

```
int main()
{
    std::set<int>::node_type n ;
```

```

{
    std::set<int> c = {1,2,3} ;
    n = c.extract(1) ;
    // c 破棄
}

// 破棄後存続
int value = n.value() ;
}

```

map 変更

map 変更。変更、元要素削除、新要素追加が必要。動的の解放確保必要。

使用、既存要素対、所有権 map 引剥上、変更、一度 map 差戻。

```

int main()
{
    std::map< std::string, std::string > m =
    {
        {"cat", "meow"},
        {"DOG", "bow"}, // 間違変更
        {"cow", "moo"}
    } ;

    // 所有権引剥
    auto n = m.extract("DOG") ;
    // 変更
    n.key() = "dog" ;
    // 差戻
    m.insert( std::move(n) ) ;
}

```

9.20 コンテナアクセス関数

コンテナ <iterator> 、関数、関数版 size, empty, data 追加。コンテナ関数 size, empty, data

第9章 其他標準庫

呼出。

```
int main()
{
    std::vector<int> v ;

    std::size(v) ; // v.size()
    std::empty(v) ; // v.empty()
    std::data(v) ; // v.data()
}
```

関数配列 `std::initializer_list<T>` 使用。

```
int main()
{
    int a[10] ;

    std::size(a) ; // 10
    std::empty(a) ; // 常 false
    std::data(a) ; // a
}
```

9.21 clamp

```
template<class T>
constexpr const T&
clamp(const T& v, const T& lo, const T& hi);
template<class T, class Compare>
constexpr const T&
clamp(const T& v, const T& lo, const T& hi, Compare comp);
```

`<algorithm>` 追加 `clamp(v, lo, hi)` 値 `v` `lo` 小場合 `lo`、`hi` 高場合 `hi`、以外場合 `v` 返。

```
int main()
{
    std::clamp( 5, 0, 10 ) ; // 5
    std::clamp( -5, 0, 10 ) ; // 0
    std::clamp( 50, 0, 10 ) ; // 10
}
```

`comp` 実引数を取、`clamp` `comp` 値と比較使用。
`clamp` 浮動小数点数使用、NaN 渡。

9.22 3次元 hypot

```
float hypot(float x, float y, float z);
double hypot(double x, double y, double z);
long double hypot(long double x, long double y, long double z);
```

`<cmath>` 3次元 `hypot` 追加。

戻値：

$$\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

9.23 atomic<T>::is_always_lock_free

```
template < typename T >
struct atomic
{
    static constexpr bool is_always_lock_free = ... ;
};
```

C++17 `<atomic>` 追加 `atomic<T>::is_always_lock_free`、`atomic<T>` 実装実行時保証する場合、`true` `static constexpr` `bool` 型。

`atomic`、他 `bool` 返関数 `is_lock_free`、実行時判定。 `is_always_lock_free` 時判定。

9.24 scoped_lock : 可変長引数 lock_guard

`std::scoped_lock` `<T ...>` 可変長引数版 `lock_guard`。

```
int main()
{
    std::mutex a, b, c, d ;
```

第9章 其他標準庫組件

```

    {
        // a,b,c,d を lock
        std::scoped_lock l( a, b, c, d );
        // a,b,c,d を unlock
    }
}

```

`std::scoped_lock` は複数の互に排他なオブジェクトを同時にロックする。取得、解放の順序は起動の方法に依存。関数 `lock` を呼出す。関数 `unlock` を呼出す。

9.25 `std::byte`

C++17 は表現型 `std::byte` を追加。型、型言語の一部、別項で詳細を説明する。

9.26 最大公約数 (gcd) と最小公倍数 (lcm)

C++17 は `<numeric>` に最大公約数 (gcd) と最小公倍数 (lcm) を追加。

```

int main()
{
    int a, b ;

    while( std::cin >> a >> b )
    {
        std::cout
            << "gcd: " << gcd(a,b)
            << "\nlcm: " << lcm(a,b) << '\n' ;
    }
}

```

9.26.1 `gcd` : 最大公約数

```

template <class M, class N>
constexpr std::common_type_t<M,N> gcd(M m, N n)
{

```

9.26 最大公約数 (gcd) と最小公倍数 (lcm)

```

    if ( n == 0 )
        return m ;
    else
        return gcd( n, std::abs(m) % std::abs(n) ) ;
}

```

`gcd(m, n)` は `m` と `n` の最大公約数を返す。0 以外の場合、 $|m|$ と $|n|$ の最大公約数 (Greatest Common Divisor) を返す。

9.26.2 lcm : 最小公倍数

```

template <class M, class N>
constexpr std::common_type_t<M,N> lcm(M m, N n)
{
    if ( m == 0 || n == 0 )
        return 0 ;
    else
        return std::abs(m) / gcd( m, n ) * std::abs(n) ;
}

```

`lcm(m,n)` は、`m` と `n` の最小公倍数を返す。0 以外の場合、 $|m|$ と $|n|$ の最小公倍数 (Least Common Multiple) を返す。



第10章

ファイルシステム

この章では、C++17 標準で定義された `<filesystem>` 標準ライブラリについて、その属性と使用法について説明する。

一般に「ファイルシステム」は、Linux の `ext4`, Microsoft Windows の `FAT` や `NTFS`, Apple Mac の `HFS+` や `APFS` など、ファイルシステムの種類によって、その属性や表現方法が異なる。C++ 標準では、これらのファイルシステムを抽象化し、共通のインターフェースを提供する。この章では、この抽象化されたファイルシステムの属性、使用法、および、ファイルシステムの操作について説明する。

この章では、ファイルシステムの属性、使用法、および、ファイルシステムの操作について説明する。また、ファイルシステムの属性、使用法、および、ファイルシステムの操作について説明する。

本書では、ファイルシステムの属性、使用法、および、ファイルシステムの操作について説明する。また、ファイルシステムの属性、使用法、および、ファイルシステムの操作について説明する。

10.1 名前空間

この章では、C++17 標準で定義された `std::filesystem` 名前空間について、その属性と使用法について説明する。

```
int main()
{
    std::filesystem::path p("/bin") ;
}
```

第 10 章 名前空間とusing

名前空間の長所、名前空間の使用、関数の単位 using の使用、名前空間の使用、短別名を付ける。

```
void using_directive()
{
    // using
    using namespace std::filesystem ;

    path p("/etc") ;
}

void namespace_alias()
{
    // 名前空間
    namespace fs = std::filesystem ;

    fs::path p("/usr") ;
}
```

10.2 POSIX 準拠

C++ の操作挙動、POSIX 規格に従う。実装は POSIX の規定の挙動を提供する場合がある。場合制限範囲内、POSIX に近い挙動を行う。実装の意味の挙動を提供する場合、通知する。

10.3 ファイルシステムの全体像

ファイルシステムの全体像を簡単に箇条書以下で示す。

- path 文字列の扱
- 例外 filesystem_error の error_code の通知
- file_status の情報の取得、設定
- directory_entry の情報の取得、設定
- directory_iterator の構造の
- 多数の関数の操作

第 10 章 文件系统

```

        auto path1 = e.path1() ; // 第一引数
        auto path2 = e.path2() ; // 第二引数
        auto error_code = e.code() ; // error_code

        std::cout
            << "error number: " << error_code.value ()
            << "\nerror message: " << error_code.message()
            << "\npath1: " << path1
            << "\npath2: " << path2 << '\n' ;
    }
}

```

filesystem_error 以下関数を実行する。

```

namespace std::filesystem {
    class filesystem_error : public system_error {
    public:
        // 第一引数
        const path& path1() const noexcept;
        // 第二引数
        const path& path2() const noexcept;
        // 内容人間読 null 終端文字列返
        const char* what() const noexcept override;
    };
}

```

10.4.2 非例外

filesystem_error 関数、std::error_code & 型実引数を取関数、以下関数を実行。

- OS 操作が発生場合、error_code & 型実引数内容を設定。場合、error_code & 型実引数対関数 clear() を呼。

```

int main()
{
    using namespace std::filesystem ;

    // 同名同名前
    path file("foobar.txt") ;
}

```

10.5 path : ファイルパス文字列クラス

```

std::ofstream{ file } ;
std::error_code error_code;
copy_file( file, file, error_code ) ;

if ( error_code )
{ // 失敗した場合
    auto path1 = file ; // 第一引数
    auto path2 = file ; // 第二引数

    std::cout
        << "error number: " << error_code.value ()
        << "\nerror message: " << error_code.message()
        << "\npath1: " << path1
        << "\npath2: " << path2 << '\n' ;
}
}

```

10.5 path : ファイルパス文字列クラス

`std::filesystem::path` ファイルパス文字列表現クラス。文字列表現は C++ の `std::string` と類似、類似した文字列表現、別専用クラスとして。

`path` は以下機能を提供。

- ファイルパス文字列表現
- ファイルパス文字列操作

`path` はファイルパス文字列表現操作を提供、物理パス変更。

ファイルパス文字列表現は実装異なる。POSIX 環境は文字型 `char` 型 UTF-8 表現、OS 多、Microsoft Windows は本書執筆現在、文字型 `wchar_t` UTF-16 表現慣習。

OS 大文字小文字区別、区別無視実装。

`path` は文字列差異吸収。

`path` は以下型名。

```
namespace std::filesystem {
```

第 10 章 文字列と文字列型

```

class path {
public:
    using value_type = see below ;
    using string_type = basic_string<value_type>;
    static constexpr value_type preferred_separator = see below ;
} ;

```

`value_type` と `string_type` は `path` の内部で文字列を表現するために使用する文字列型。 `preferred_separator` は、推奨区切り文字。 POSIX 互換環境で `/` を用い、Microsoft Windows で `\` を使用する。

10.5.1 path : ファイルパスの文字列

文字列を表現。 C++ の文字列以下。

- `char`: UTF-8
- `wchar_t`: UTF-16
- `char`: UTF-8
- `char16_t`: UTF-16
- `char32_t`: UTF-32

`path::value_type` は文字型、文字列は文字列型。文字列型は文字列型に依存。 `path` は文字列型、 `path::value_type` は文字型。文字列型は自動的に変換される。

```

int main()
{
    using namespace std::filesystem ;

    // 
    path p1( "/dev/null" );
    // 
    path p2( L"/dev/null" );
    // UTF-16 
    path p3( u"/dev/null" );
    // UTF-32 
    path p4( U"/dev/null" );
}

```

10.5 path : 文字列

、文字列 渡 動。

C++ UTF-8 文字型 `char` 、 文字型 同 、型 區別 。 、UTF-8 文字列 渡 、 認識 。

```
int main()
{
    using namespace std::filesystem ;

    // 解釈
    path p( u8"名" );
}
```

、 UTF-8 場合、動 保証 移植性 低 。 UTF-8 移植性 高 方法 使 場合、`u8path` 使 。

```
int main()
{
    using namespace std::filesystem ;

    // UTF-8 解釈
    // 実装 使 文字 変換
    path = u8path( u8"名" );
}
```

`u8path(Source)` `Source` UTF-8 文字列 扱 、通常 文字列 渡 、 UTF-8 環境 問題 。

```
int main()
{
    using namespace std::filesystem ;

    // UTF-8 解釈
    // UTF-8 場合、問題
    path = u8path( "名" );
}
```

`u8path` 使 場合、文字列 必 UTF-8 。

第 10 章 字符串

環境、使用文字制限、特定文字列特別意味持予約語、移植性高作成当点注意。、環境大文字小文字區別、CON AUX 文字列特別意味持。

path 格納文字列取得方法、環境依存文字列表現方法差異、方法用意。

文字列以下 2 。

- 実装依存
- 汎用的標準

POSIX 準拠環境、同。POSIX 準拠環境、異持可能性。

、Microsoft Windows 、文字列区切文字 POSIX 準拠 / \ 使。

関数 native c_str 。

```
class path {
{
public :
    const string_type& native() const noexcept;
    const value_type* c_str() const noexcept;
} ;
```

path 内部使用実装依存文字列型返。

```
int main()
{
    using namespace std::filesystem ;

    path p = current_path() ;

    // 実装依存 basic_string 特殊化
    path::string_type str = p.native() ;

    // 実装依存文字型
```


10.5 path : 文字列

```
path::value_type const * ptr = p.c_str() ;
```

```
}
```

関数使移植性注意必要。

str 型 path::string_type 、 ptr 型実装依存 path::value_type const * 。

path::value_type path::string_type 、 char wchar_t, std::string std::wstring C++ 標準定義型可能性。

、 path::string_type 変換関数 operator string_type() 。

```
int main()
{
    using namespace std::experimental::filesystem ;

    auto p = current_path() ;

    // 暗黙型変換
    path::string_type str = p ;
}
```

path operator string_type() 、 文字列型既存形式変換返。空白文字含、二重引用符囲文字列変換。

```
int main()
{
    using namespace std::filesystem ;

    path name("foo bar.txt") ;
    std::basic_ofstream<path::value_type> file( name ) ;
    file << "hello" ;
}
```

文字列 string, wstring, u16string, u32string 変換取得関数以下。

```
class path {
public :
    std::string string() const;
    std::wstring wstring() const;
    std::string u8string() const;
```

10

10.5 path : 字符串文字列

作提供。

operator /, operator /= 区切字符串追加行。

```
int main()
{
    using namespace std::filesystem ;

    path p("/") ;

    // "/usr"
    p /= "usr" ;
    // "/usr/local/include"
    p = p / "local" / "include" ;
}
```

operator += 单字符串結合行。

```
int main()
{
    using namespace std::filesystem ;

    path p("/") ;

    // "/usr"
    p += "usr" ;
    // "/usrlocal"
    p += "local" ;
    // "/usrlocalinclude"
    p += "include" ;
}
```

operator / 違、operator + 存在。

其他、path 字符串对操作提供。
以下一例。

```
int main()
{
    using namespace std::filesystem ;

    path p( "/home/cpp/src/main.cpp" ) ;
```

第 10 章 文件系统

```

    // "main.cpp"
    path filename = p.filename() ;
    // "main"
    path stem = p.stem() ;
    // ".cpp"
    path extension = p.extension() ;
    // "/home/cpp/src/main.o"
    p.replace_extension("o") ;
    // "/home/cpp/src/"
    p.remove_filename() ;
}

```

`path` 文字列对行文字列处理提供。名拔出处理、拡張子拔出处理、拡張子変換处理。

10.6 file_status

`file_status` 保持。文字列指定取得方法別途、方法毎物理発生。`file_status` 情報保持、役割果。

`file_status` 物理変更。`file_status` `status(path)` `status(path, error_code)` 取得。、`directory_entry` 関数 `status()` 取得。種類表 `enum` 型 `file_type` 、通常種類表。種類表、種類表 `enum` 型 `perms` 、所有者他人対読込、書込、実行権限表。値 `POSIX` 値同。取得関数以下。

```

class file_type {
public :
    file_type type() const noexcept;
    perms permissions() const noexcept;
} ;

```

以下例程使用。

```
int main()
{
    using namespace std::filesystem ;

    directory_iterator iter(".", end ;

    int regular_files = 0 ;
    int execs = 0 ;

    std::for_each( iter, end, [&]( auto entry )
    {
        auto file_status = entry.status() ;
        // is_regular_file( file_status ) 可
        if ( file_status.type() == file_type::regular )
            ++regular_files ;

        constexpr auto exec_bits =
            perms::owner_exec | perms::group_exec | perms::others_exec ;

        auto permissions = file_status.permissions() ;
        if ( ( permissions != perms::unknown) &&
            (permissions & exec_bits) != perms::none )
            ++execs ;
    } ) ;

    std::cout
        << "Current directory has "
        << regular_files
        << " regular files.\n" ;
        << execs
        << " files are executable.\n" ;
    }
```

例程中、`regular_files`、`execs` 通常整数、実行可能数表示。

例程中 `perms` 型 `perms`、不明場合 `perms::unknown`。値 `0xFFFF` 演算場合注意必要。

以外 `perms` 値 POSIX 準拠、`perms` `scoped enum` 型。

第 10 章 文件系统

、明示的权限设置必要。

```
// 例
std::filesystem::perms a = 0755 ;

// OK
std::filesystem::perms b = std::filesystem::perms(0755) ;
```

、`std::filesystem::perms` 関数以下。

```
void type(file_type ft) noexcept;
void permissions(perms prms) noexcept;
```

、`file_status` 単に用、`file_status` 「書換」関数、単に `file_status` 保持値書換、物理反映。物理書換、関数 `permissions` 使。

10.7 `directory_entry`

`directory_entry` 文字列保持、指示情報取得。

物理情報 毎回読 非効率。 `directory_entry` 情報用途持。

`directory_entry` 物理情報読込、変更。

`directory_entry` 構築、引数 `path` 与他、`directory_iterator` `recursive_directory_iterator` 得。

```
int main()
{
    using namespace std::filesystem ;

    path p(".");

    // 文字列得
    directory_entry e1(p) ;

    // 得
```

```

    directory_iterator i1(p) ;
    directory_entry e2 = *i1 ;

    recursive_directory_iterator i2(p) ;
    directory_entry e3 = *i2 ;
}

```

`directory_entry` 詳細なファイル情報取得関数、同機能関数。 `directory_entry` 使用、 情報取得、 同、物理属性変更回数、情報取得効率の。

```

int main()
{
    using namespace std::filesystem ;

    directory_entry entry("/home/cpp/foo") ;

    // 存在確認
    bool b = entry.exists() ;

    // "/home/cpp/foo"
    path p = entry.path() ;
    file_status s = entry.status() ;

    // 取得
    std::uintmax_t size = entry.file_size() ;

    {
        std::ofstream foo( entry.path() ) ;
        foo << "hello" ;
    }

    // 物理属性情報更新
    entry.refresh() ;
    // 一度取得
    size = entry.file_size() ;

    // 情報取得
    // "/home/cpp/bar"
    // 置換 refresh() 呼出

```

第 10 章 文件系统

```
entry.replace_filename("bar") ;
}
```

`directory_entry` オブジェクトを用いて、自動的・物理的にファイルの変更・追跡・最新情報取得・明示的刷新関数 `refresh` を呼出す必要はない。

10.8 `directory_iterator`

`directory_iterator` は、ディレクトリ树下に存在するファイル・ディレクトリを形式上列挙する。

ディレクトリ、ディレクトリ树下に存在するファイル・ディレクトリを列挙する以下に示す。

```
int main()
{
    using namespace std::filesystem ;
    directory_iterator iter(".", end) ;
    std::copy( iter, end,
               std::ostream_iterator<path>(std::cout, "\n") ) ;
}
```

`directory_iterator` はディレクトリ `path` を渡す、ディレクトリ树下最初に相当する `directory_entry` を返す。ディレクトリ指定ディレクトリ树下に存在する場合、終端を返す。

`directory_iterator` はディレクトリ終端を返す。終端を返す可能性がある。

`directory_iterator::value_type` は `directory_entry` の、ディレクトリ树下に入力する。

`directory_iterator` はディレクトリ (.) の親ディレクトリ (..) を列挙する。

`directory_iterator` はディレクトリ树下に存在するファイル・ディレクトリを順番に列挙する。未規定。

`directory_iterator` はディレクトリ树下に存在する可能性のある、ディレクトリ存在ディレクトリ当ディレクトリ。ディレクトリ、存在ディレクトリディレクトリディレクトリディレクトリ。

`directory_iterator` はディレクトリ树下作成後物理的にディレクトリディレクトリ。

`directory_iterator` の挙動は、`directory_options` の値によって変更され、反映される。ただし、C++17 の標準規格の範囲内では、`directory_iterator` の挙動は変更されない。

`directory_iterator` の挙動は、`directory_options` の値によって指定される。ただし、C++17 の標準規格の範囲内では、`directory_iterator` の挙動は変更されない。

10.8.1 エラー処理

`directory_iterator` の構築時にエラーが発生した場合、`error_code` の値を受け取る。ただし、C++17 の標準規格の範囲内では、`directory_iterator` の挙動は変更されない。

```
int main()
{
    using namespace std::filesystem ;

    std::error_code err ;

    directory_iterator iter("this-directory-does-not-exist", err) ;

    if ( err )
    {
        // エラー処理
    }
}
```

`recursive_directory_iterator` の構築時にエラーが発生した場合、`error_code` の値を受け取る。ただし、C++17 の標準規格の範囲内では、`recursive_directory_iterator` の挙動は変更されない。

```
int main()
{
    using namespace std::experimental::filesystem ;

    recursive_directory_iterator iter(".", end) ;

    std::error_code err ;

    for ( ; iter != end && !err ; iter.increment( err ) )
    {
        std::cout << *iter << "\n" ;
    }
}
```

第 10 章

```
    }

    if ( err )
    {
        // 処理
    }
}
```

10.9 recursive_directory_iterator

recursive_directory_iterator 指定ディレクトリ以下に存在するディレクトリ以下を含む、ディレクトリを列挙する。使用方は directory_iterator と同じ。

```
int main()
{
    using namespace std::filesystem ;
    recursive_directory_iterator iter(".", end ;

    std::copy( iter, end,
               std::ostream_iterator<path>(std::cout, "\n") ) ;
}
```

関数 options, depth, recursion_pending, pop, disable_recursion_pending は呼び出された際挙動未定義。

10.9.1 オプション

recursive_directory_iterator の実引数 directory_options 型 scoped enum 値を取り、挙動を変更する。directory_options 型 enum 値は、以下 3 値が規定されている。

名前	意味
none	デフォルト。ディレクトリを列挙する。ディレクトリ違反しない
follow_directory_symlink	ディレクトリを列挙する中で列挙
skip_permission_denied	ディレクトリ違反を無視する

10.9 recursive_directory_iterator

recursive_directory_iterator 取得のオプションは、none、follow_directory_symlink、skip_permission_denied、follow_directory_symlink | skip_permission_denied の 4 種類がある。

```
int main()
{
    using namespace std::filesystem ;
    recursive_directory_iterator
        iter("/", directory_options::skip_permission_denied), end ;

    std::copy( iter, end,
               std::ostream_iterator<path>(std::cout, "\n") ) ;
}
```

follow_directory_symlink の、親ディレクトリを再訪する可能性がある場合、ディレクトリ終端に到達する可能性があるので注意が必要。

```
int main()
{
    using namespace std::filesystem ;

    // 自分自身を含むディレクトリに対してシンリンクを作成
    create_symlink(".", "foo") ;

    recursive_directory_iterator
        iter(".", directory_options::follow_directory_symlink), end ;

    // 再訪、終了
    std::copy( iter, end, std::ostream_iterator<path>(std::cout) ) ;
}
```

recursive_directory_iterator は現在 directory_options を得る関数、関数 options を呼ぶ。

```
class recursive_directory_iterator {
public :
    directory_options options() const ;
} ;
```

第 10 章

10.9.2 depth : 深さ取得

recursive_directory_iterator 現在列挙しているディレクトリを深く知る関数、ディレクトリ関数 depth を呼ぶ。

```
class recursive_directory_iterator {
public :
    int depth() const ;
} ;
```

最初深さ 0、次深さ 1、以降同様続。

10.9.3 pop : 現在のディレクトリーの列挙中止

関数 `pop` を呼ぶ、現在列挙中の列挙子 `enum` を取り、親の列挙子 `enum` に戻す。現在初期列挙子の場合、`enum.depth() == 0` 場合、終端列挙子。

```
class recursive_directory_iterator {
public :
    void pop();
    void pop(error_code& ec);
} ;
```

第○頁、第○頁以下第○頁第○段、第○頁第○段以下第○書第○順番第○項第○列挙の環境場合、

a
b
b/a
b/c
b/d
c
d

以下□□□□□□□□□□实行□□□、

```
int main()
{
    std::filesystem ;
}
```

```

recursive_directory_iterator iter("."), end ;

auto const p = canonical("b/a") ;

for ( ; iter != end ; ++iter )
{
    std::cout << *iter << '\n' ;

    if ( canonical(iter->path()) == p )
        iter.pop() ;
}

```

標準出力に指図の順番に以下が出力される。

```

a
b
b/a
c
d

```

“b/a” に到達した時点で pop() を呼び出し、b 以下の再帰的列挙を中止し、親ディレクトリに戻す。

10.9.4 recursion_pending : 現在のディレクトリーの再帰をスキップ

disable_recursion_pending は現在ディレクトリの下に再帰的列挙が行われている機能を無効化する。

```

class recursive_directory_iterator {
public :
    bool recursion_pending() const ;
    void disable_recursion_pending() ;
} ;

```

recursion_pending() は、直前に操作を行った後 disable_recursion_pending() を呼び出した場合、true を返す。そうでない場合は false を返す。

言い換えると、disable_recursion_pending() を呼び出した直後、再帰的列挙の操作が行われている場合、recursion_pending() は false を返す。

```

int main()

```

第 10 章 再帰的列挙

```

{
    using namespace std ;
    recursive_directory_iterator iter("."), end ;

    // true
    bool b1 = iter.recursion_pending() ;

    iter.disable_recursion_pending() ;
    // false
    bool b2 = iter.recursion_pending() ;

    ++iter ;
    // true
    bool b3 = iter.recursion_pending() ;

    iter.disable_recursion_pending() ;
    // false
    bool b4 = iter.recursion_pending() ;
}

```

現在 `recursive_directory_iterator` が指しているディレクトリを再帰的に再帰的列挙する場合、`iter.recursion_pending()` が `true` を返す場合、`iter.disable_recursion_pending()` を呼び出して再帰的列挙を停止し、`iter.recursion_pending()` が `false` を返す場合、`++iter` を呼び出して次のディレクトリに進む。この操作を行う後、`iter.recursion_pending()` の結果は `true` となる。

`iter.disable_recursion_pending()`、現在指しているディレクトリを再帰的に再帰的列挙する機能を提供する。

以下に、`recursive_directory_iterator` の使用例を示す。この例では、`iter.recursion_pending()` が `true` の場合、`iter.disable_recursion_pending()` を呼び出して再帰的列挙を停止し、`++iter` を呼び出して次のディレクトリに進む。

```

a
b
b/a
b/c
b/d
c
d

```

以下に、`recursive_directory_iterator` の実行結果を示す。

標準出力指XXXXXXXXXX順番以下XXXXXXXXX。

247

第 10 章 標準ライブラリ

10.10 ファイルシステム操作関数

10.10.1 ファイルパス取得

current_path

```
path current_path();
path current_path(error_code& ec);
```

現在の作業ディレクトリ (current working directory) の絶対パスを返す。

temp_directory_path

```
path temp_directory_path();
path temp_directory_path(error_code& ec);
```

一時作業ディレクトリを作成する。一時作業ディレクトリ (temporary directory) を返す。

10.10.2 ファイルパス操作

absolute

```
path absolute(const path& p);
path absolute(const path& p, error_code& ec);
```

p の絶対パスを返す。p が存在しない場合は挙動は未規定。

canonical

```
path canonical(const path& p, const path& base = current_path());
path canonical(const path& p, error_code& ec);
path canonical(const path& p, const path& base, error_code& ec);
```

存在するパス p が、相対パス、絶対パス、または親ディレクトリ (..) の存在する絶対パスを返す。

weakly_canonical

```
path weakly_canonical(const path& p);
path weakly_canonical(const path& p, error_code& ec);
```


`path::relative(const path& p, error_code& ec)` 解决、正规范化返回。相对规范化定义长省略。

relative

```
path relative(const path& p, error_code& ec);
path relative(const path& p, const path& base = current_path());
path relative(const path& p, const path& base, error_code& ec);
```

`base` 对 `p` 相对返回。

proximate

```
path proximate(const path& p, error_code& ec);
path proximate(const path& p, const path& base = current_path());
path proximate(const path& p, const path& base, error_code& ec);
```

`base` 对 `p` 相对空返回。相对空 `p` 返回。

10.10.3 作成

create_directory

```
bool create_directory(const path& p);
bool create_directory(const path& p, error_code& ec) noexcept;
```

`p` 指定 1 作成。新作成場合 `true`、作成場合 `false` 返回。`p` 既存指定新作成場合新作成場合 `false` 返回。

```
bool create_directory(
    const path& p, const path& existing_p);

bool create_directory(
    const path& p, const path& existing_p,
    error_code& ec) noexcept;
```

新作成 `p` 既存 `existing_p` 同。

create_directories

第 10 章 標準ライブラリ

```
bool create_directories(const path& p);
bool create_directories(const path& p, error_code& ec) noexcept;
```

`create_directories` `p` 中に存在しないディレクトリを作成する。

以下に示すディレクトリ、`a` 下に `b`、`b` 下に `c` を作成する。途中、`a`、`b` が存在する場合、作成される。

```
int main()
{
    using namespace std::filesystem;
    create_directories("./a/b/c");
}
```

戻り値、作成成功の場合 `true`、失敗の場合 `false`。

create_directory_symlink

```
void create_directory_symlink(
    const path& to, const path& new_symlink);
void create_directory_symlink(
    const path& to, const path& new_symlink,
    error_code& ec) noexcept;
```

`create_directory_symlink` `to` を解決したパス `new_symlink` を作成する。

一部の OS では、シンボリックリンクを作成する際に明示的な区別が必要である。この場合、`create_symlink` ではなく `create_directory_symlink` を使用する。

一部の OS では、シンボリックリンクを作成する際に明示的な区別が必要である。この場合、`create_symlink` ではなく `create_directory_symlink` を使用する。

create_symlink

```
void create_symlink(
    const path& to, const path& new_symlink);
void create_symlink(
    const path& to, const path& new_symlink,
    error_code& ec) noexcept;
```

`create_symlink` `to` を解決したパス `new_symlink` を作成する。

create_hard_link

```

void create_hard_link(
    const path& to, const path& new_hard_link);
void create_hard_link(
    const path& to, const path& new_hard_link,
    error_code& ec) noexcept;

```

to を解決したパス new_hard_link 作成。

10.10.4 コピー

copy_file

```

bool copy_file( const path& from, const path& to);
bool copy_file( const path& from, const path& to,
    error_code& ec) noexcept;
bool copy_file( const path& from, const path& to,
    copy_options options);
bool copy_file( const path& from, const path& to,
    copy_options options,
    error_code& ec) noexcept;

```

from から to へコピー。

copy_options は挙動変数 enum 型、以下 enum 値。

名前	意味
none	、が存在する場合
skip_existing	既存を上書き。エラーを報告
overwrite_existing	既存を上書き
update_existing	既存を上書きする場合は古を上書き

copy

```

void copy( const path& from, const path& to);
void copy( const path& from, const path& to,
    error_code& ec) noexcept;
void copy( const path& from, const path& to,

```

第 10 章 標準ライブラリ

```

        copy_options options);
void copy( const path& from, const path& to,
          copy_options options,
          error_code& ec) noexcept;

```

この関数は from から to までコピーを行う。

copy_options は挙動を制御する enum 型、以下に enum 値を列挙する。

- copy_options の関数指定

名前	意味
none	デフォルト、再帰的にコピーを行う。
recursive	再帰的にコピーを行う中身もコピーする。

- copy_options の関数指定

名前	意味
none	デフォルト、シンリンクをコピーしない。
copy_symlinks	シンリンクをコピーする。非再帰的にコピーする。シンリンクを指すシンリンクは直接コピーする。
skip_symlinks	シンリンクを無視する。

- copy_options の関数指定

名前	意味
none	デフォルト、再帰的に下の中身もコピーする。
directories_only	ディレクトリのみを構造体としてコピーする。非再帰的にコピーする。
create_symlinks	シンリンクをコピーする、シンリンクを作成する。シンリンクが既に存在する場合、シンリンクを絶対パスで置き換える。
create_hard_links	シンリンクをコピーする、シンリンクを作成する。

copy_symlink

```

void copy_symlink( const path& existing_symlink,

```

```

        const path& new_symlink);
void copy_symlink( const path& existing_symlink,
                  const path& new_symlink,
                  error_code& ec) noexcept;

existing_symlink から new_symlink へコピー。

```

10.10.5 削除

remove

```

bool remove(const path& p);
bool remove(const path& p, error_code& ec) noexcept;

```

`p` が指している存在するファイルを削除。削除する場合、`error_code` が通知を受け取る関数に渡され、削除に失敗した場合は `error_code` が `ec` に設定される。

戻り値は、削除に成功した場合 `true` を返す。削除に失敗した場合 `false` を返す。`error_code` が通知を受け取る関数に渡され、削除に失敗した場合は `error_code` が `ec` に設定される。

remove_all

```

uintmax_t remove_all(const path& p);
uintmax_t remove_all(const path& p, error_code& ec) noexcept;

```

`p` が指している存在するファイルと、`p` が指しているディレクトリ内のすべてのファイルとサブディレクトリを削除。

`p` が指しているディレクトリが存在する場合、`p` が指しているディレクトリ内のすべてのファイルとサブディレクトリを削除し、`p` が指しているディレクトリを削除。

`p` が指しているファイルが存在する場合、`p` が指しているファイルを削除。

戻り値は、削除されたファイルの個数を返す。`error_code` が通知を受け取る関数に渡され、削除に失敗した場合は `static_cast<uintmax_t>(-1)` を返す。

10.10.6 变更

permissions

```
void permissions( const path& p, perms prms,
                  perm_options opts=perm_options::replace);
void permissions( const path& p, perms prms,
                  error_code& ec) noexcept;
void permissions( const path& p, perms prms,
                  perm_options opts,
                  error_code& ec);
```

`permissions` `p` 文件/目录变更。

`opts` `perm_options` 型 `enum` 值、`replace`, `add`, `remove` 或 `nofollow`。省略时 `replace`。

存在 `foo` 文件、对 `foo` 实行权限附加、以下 `perms` 书。

```
int main()
{
    using namespace std::filesystem ;

    permissions( "./foo", perms(0111), perm_options::add ) ;
}
```

`perm_options` 以下 `enum` 值持。

名前	意味
<code>replace</code>	<code>perms</code> 置換
<code>add</code>	<code>perms</code> 指定追加
<code>remove</code>	<code>perms</code> 指定取除
<code>nofollow</code>	場合、 <code>permissions</code> 先、 <code>permissions</code> 变更

`replace`、`add`、`remove`、`nofollow` 置換、追加、取除、`nofollow` 場合、

```
perm_options opts = perm_options::replace | perm_options::nofollow ;
```

書。

rename

```
void rename(const path& old_p, const path& new_p);
void rename(const path& old_p, const path& new_p,
            error_code& ec) noexcept;
```

old_p から new_p へ名前を変更する。

old_p が new_p と同じ存在する場合、何もしない。

```
int main()
{
    using namespace std::filesystem ;

    // 何もしない
    rename("foo", "foo") ;
}
```

例外以外の場合、std::filesystem::error_code 以下にエラーコードが発生する。

例、old_p 前に new_p が既存する場合、std::filesystem::error_code 以下に new_p が削除される。

```
int main()
{
    using namespace std::experimental::filesystem ;

    {
        std::ofstream old_p("old_p"), new_p("new_p") ;

        old_p << "old_p" ;
        new_p << "new_p" ;
    }

    // old_p の内容を new_p に書き出す
    // new_p を削除する
    rename("old_p", "new_p") ;

    std::ifstream new_p("new_p") ;

    std::string text ;
```

第 10 章 標準ライブラリ

```

new_p >> text ;

// "old_p"
std::cout << text ;
}

```

、`new_p` が既存の空ディレクトリを指している場合、POSIX 準拠 OS では、ディレクトリに伴って `new_p` を削除する。他の OS での動作は保証されない。

```

int main()
{
    using namespace std::experimental::filesystem ;

    create_directory("old_p") ;
    create_directory("new_p") ;

    // POSIX 準拠環境では、rename() が保証される
    rename("old_p", "new_p") ;
}

```

`old_p` が既存のディレクトリの場合、ディレクトリを削除する前に、ディレクトリ内のファイルを削除する必要がある。

resize_file

```

void resize_file( const path& p, uintmax_t new_size);
void resize_file( const path& p, uintmax_t new_size,
                  error_code& ec) noexcept;

```

ディレクトリ `path` を指しているディレクトリを `new_size` に変更する。

POSIX では `truncate()` を行い、ディレクトリを振替える。ディレクトリが小さい場合、余計なデータを捨てる。ディレクトリが大きい場合、増分を `null` (0) に設定する。ディレクトリが最終更新日時を更新する。

10.10.7 情報取得

ディレクトリ判定

ディレクトリを表現する `file_type` 型の enum、この enum 値は以下に示す。

名前	意味
none	何の決定もなされず
not_found	発見されず、疑似ファイル
regular	通常ファイル
directory	ディレクトリ
symlink	シンリンク
block	ブロックデバイス
fifo	FIFO デバイス
socket	ソケット
unknown	存在しないか決定不能

他、実装依存追加可能性。

調、file_status 関数 type 戻値調。
。

以下foo、foo存在foo foo
foo調foo。

```
int main()
{
    using namespace std::filesystem ;

    auto s = status("./foo") ;
    bool b = s.type() == file_type::directory ;
}
```

`stat`、`status` の `path` は、`is_directory` を用いて判定する。

```
int main()
{
    using namespace std::filesystem ;

    bool b1 = is_directory("./foo") ;

    auto s = status("./foo") ;
    bool b2 = is_directory(s) ;
}
```

file_status 情報、物理変
更追加状態、同対何度情報取得場合、

第 10 章 文件系统

`file_status` 使用 `is_x` 形式函数、以下形式取。

```
bool is_x(file_status s) noexcept;
bool is_x(const path& p);
bool is_x(const path& p, error_code& ec) noexcept;
```

以下函数名前、判定表。

名前	意味
<code>is_regular_file</code>	通常ファイル
<code>is_directory</code>	ディレクトリ
<code>is_symlink</code>	シンリンク
<code>is_block</code>	ブロックデバイス
<code>is_fifo</code>	FIFO デバイス
<code>is_socket</code>	ソケット

、単一関数調以下名前関数存在。

名前	意味
<code>is_other</code>	存在、通常ファイル、ディレクトリ、シンリンク、ブロックデバイス、FIFO デバイス、ソケット
<code>is_empty</code>	場合、空 <code>true</code> 返。非空場合、 <code>0</code> 返 <code>true</code> 返。

status

```
file_status status(const path& p);
file_status status(const path& p, error_code& ec) noexcept;
```

関数 `status` は `p` が指すファイルの情報を格納した `file_status` を返す。
`p` が存在しない場合、`ec` がエラーコードを格納し、`file_status` を返す。

status_known

```
bool status_known(file_status s) noexcept;

s.type() != file_type::none を返す。
```

symlink_status

```
file_status symlink_status(const path& p);
file_status symlink_status(const path& p, error_code& ec) noexcept;

status が同様に、p がシンボリックリンクの場合、シンボリックリンクの  

status を返す。
```

equivalent

```
bool equivalent(const path& p1, const path& p2);
bool equivalent(const path& p1, const path& p2,
               error_code& ec) noexcept;



p1 が p2 と物理的に等しい場合、同一の場合、true を返す。  

異なる場合 false を返す。


```

exists

```
bool exists(file_status s) noexcept;
bool exists(const path& p);
bool exists(const path& p, error_code& ec) noexcept;



s, p が指すファイルが存在する場合 true を返す。存在しない場合 false を返す。


```

file_size

```
uintmax_t file_size(const path& p);
uintmax_t file_size(const path& p, error_code& ec) noexcept;
```

第 10 章 文件系统

`p` 指 `path` 所指向的文件或目录。

如果 `path` 存在，则返回 `0`。如果 `path` 不存在，则返回 `error_code`。如果 `path` 以外，则返回 `error_code`。

如果 `error_code` 受 `error_code` 函数影响，则返回 `static_cast<uintmax_t>(-1)`。

hard_link_count

```
uintmax_t hard_link_count(const path& p);
uintmax_t hard_link_count(const path& p, error_code& ec) noexcept;
```

`p` 指 `path` 所指向的文件或目录。

如果 `path` 存在，则返回 `0`。如果 `path` 不存在，则返回 `error_code`。如果 `path` 以外，则返回 `error_code`。

last_write_time

```
file_time_type last_write_time( const path& p);
file_time_type last_write_time( const path& p,
                                error_code& ec) noexcept;
```

`p` 指 `path` 所指向的文件或目录。

```
void last_write_time( const path& p, file_time_type new_time);
void last_write_time( const path& p, file_time_type new_time,
                      error_code& ec) noexcept;
```

`p` 指 `path` 所指向的文件或目录。

`last_write_time(p, new_time)` 呼出后，`last_write_time(p) == new_time` 保证成立。物理文件系统可能因各种原因，导致分解能品质问题。

`file_time_type`、`std::chrono::time_point` 特殊化以下定义。

```
namespace std::filesystem {
    using file_time_type = std::chrono::time_point< trivial_clock > ;
}
```

`trivial_clock` 类型、`TrivialClock` 类型（`TrivialClock`）要件满足：
 1. `TrivialClock` 类型是 `std::chrono::time_point` 的特化。
 2. `TrivialClock` 类型的 `time_point` 值正确表现时间。
 3. `TrivialClock` 类型是具体的类型，完全符合 `std::chrono::time_point` 的要求。

時間扱極困難。現在時刻設定、差分時間設定。

```
int main()
{
    using namespace std::experimental::filesystem ;
    using namespace std::chrono ;
    using namespace std::literals ;

    // 最終更新日時取得
    auto timestamp = last_write_time( "foo" ) ;

    // 時刻 1 時間進
    timestamp += 1h ;
    // 更新
    last_write_time( "foo", timestamp ) ;

    // 現在時刻取得
    auto now = file_time_type::clock::now() ;

    last_write_time( "foo", now ) ;
}
```

多実装 `file_time_type`、`time_point<std::chrono::system_clock>` 使用。 `file_time_type::clock` `system_clock`、`system_clock::to_time_t` `system_clock::from_time_t` `time_t` 型相互変換、。

```
// file_time_type::clock system_clock 場合

int main()
{
    using namespace std::experimental::filesystem ;
    using namespace std::chrono ;

    // 最終更新日時文字列得
    auto time_point_value = last_write_time( "foo" ) ;
    time_t time_t_value =
        system_clock::to_time_t( time_point_value ) ;
    std::cout << ctime( &time_t_value ) << '\n' ;
}
```

第 10 章 時間と時刻

```

// 最終更新日時 2017-10-12 19:02:58 設定
tm struct_tm{} ;
struct_tm.tm_year = 2017 - 1900 ;
struct_tm.tm_mon = 10 ;
struct_tm.tm_mday = 12 ;
struct_tm.tm_hour = 19 ;
struct_tm.tm_min = 2 ;
struct_tm.tm_sec = 58 ;

time_t timestamp = std::mktime( &struct_tm ) ;
auto tp = system_clock::from_time_t( timestamp ) ;

last_write_time( "foo", tp ) ;
}

```

このコードは、C++ の現在時刻を利用し、C++ 風の時間と時刻の形式で表示する。この問題は将来の規格改定で改善される。

read_symlink

```

path read_symlink(const path& p);
path read_symlink(const path& p, error_code& ec);

```

この関数は p を解決し、先容量を取得する。p が存在しない場合は、error_code を返す。

space

```

space_info space(const path& p);
space_info space(const path& p, error_code& ec) noexcept;

```

この関数は p を指し、先容量を取得する。space_info は以下のように定義されている。

```

struct space_info {
    uintmax_t capacity;
    uintmax_t free;
    uintmax_t available;
};

```

関数、POSIX 関数 `statvfs` 関数呼出結果 `struct statvfs` `f_blocks`, `f_bfree`, `f_bavail`、`f_frsize` 乗、`space_info` `capacity`, `free`, `available` 返。値決定、`static_cast<uintmax_t>(-1)` 代入。

通知 `error_code` 返関数場合、`space_info` `static_cast<uintmax_t>(-1)` 代入。

`space_info` 意味説明、以下表。

名前	意味
<code>capacity</code>	総容量
<code>free</code>	空容量
<code>available</code>	権限使用空容量

索引

*this, 34
 ::value, 22
 <algorithm>, 153, 156, 183, 220
 <any>, 104
 <atomic>, 221
 <chrono>, 262
 <cmath>, 165, 221
 <cstdint>, 81
 <execution>, 156, 161
 <filesystem>, 225
 <functional>, 179, 195, 196
 <iterator>, 220
 <memory>, 196
 <memory_resource>, 133
 <new>, 176
 <numeric>, 222
 <optional>, 110
 <system_error>, 227
 <tuple>, 194
 <type_traits>, 201
 <utility>, 193
 <variant>, 85
 [[deprecated]] 属性, 6
 [[fallthrough]] 属性, 40
 [[maybe_unused]] 属性, 43
 [[nodiscard]] 属性, 41
 __cpp_aggregate_nsdmi, 24
 __cpp_binary_literals, 5
 __cpp_capture_star_this, 37
 __cpp_constexpr, 23, 39
 __cpp_decltype_auto, 14
 __cpp_deduction_guides, 61
 __cpp_fold_expressions, 34
 __cpp_generic_lambdas, 15
 __cpp_hex_float, 28
 __cpp_if_constexpr, 56
 __cpp_init_captures, 18
 __cpp_inline_variables, 79
 __cpp_nested_namespace_definitions, 40
 __cpp_noexcept_function_type, 30
 __cpp_return_type_deduction, 9
 __cpp_rvalue_references, 2
 __cpp_sized_deallocation, 25
 __cpp_static_assert, 39
 __cpp_structured_bindings, 75
 __cpp_template_auto, 62
 __cpp_variable_templates, 23
 __cpp_variadic_using, 81
 __has_cpp_attribute(deprecated), 8
 __has_cpp_attribute(fallthrough), 41
 __has_cpp_attribute(maybe_unused), 45
 __has_cpp_attribute(nodiscard), 43
 __has_cpp_attribute 式, 4
 __has_include 式, 3
 __USE_RVALUE_REFERENCES, 2
 _v 版, 23, 201
 0B, 5
 0b, 5
 0x, 27
 16 進数浮動小数点数 式, 27
 3 次元 hypot, 221
 absolute, 248
 addressof, 196
 all_of, 153, 155
 allocate, 134, 149
 any, 85, 104
 any_cast<T>, 109
 emplace, 105, 106
 has_value, 107
 make_any<T>, 108
 reset, 106
 std::in_place_type<T>, 105
 swap, 107
 type, 108
 構築, 105
 代入, 106
 破棄, 105
 any_cast<T>, 109
 The Art of Computer Programming, 183
 as_const, 193
 auto, 8, 61
 厳格~, 9
 basic_string_view, 123

BinaryOperation, 157
 BinaryOperation1, 157
 BinaryOperation2, 157
 BinaryPredicate, 157
 bool, 115
 bool_constant, 201
 Boyer–Moore–Horspool 検索関数, 182
 Boyer–Moore 文字列検索関数, 180

 C++03, v
 C++11, v
 C++14, v, 5
 言語, 5
 C++17, vi, 1, 27
 言語, 27
 C++20, vi
 C++98, v
 c_str, 232
 canonical, 248
 char, 121, 230
 CHAR_BIT, 81
 char16_t, 121, 230
 char32_t, 121, 230
 clamp, 220
 clear, 228
 Compare, 157
 conjunction, 202
 constexpr, 23, 37
 constexpr if 文, 46
 解決関数問題, 55
 解決関数問題, 55
 copy, 251
 copy_file, 251
 copy_options, 251, 252
 copy_symlink, 252
 create_directories, 249
 create_directory, 249
 create_directory_symlink, 250
 create_hard_link, 251
 create_symlink, 250
 current_path, 248
 C 関数, vi, 1

 data, 220
 deallocate, 134, 149
 decltype(auto), 9
 delete, 25
 depth, 244
 destroy, 199
 directory_entry, 236, 238
 directory_iterator, 238, 240
 error_code, 241
 increment, 241
 directory_options, 241, 242
 disable_recursion_pending, 245
 discarded statement, 52

 disjunction, 203
 do_allocate, 135, 143, 149
 do_deallocate, 135, 149
 do_is_equal, 135

 emplace, 90, 92, 105, 106, 208
 戻値, 206
 emplace_back, 206
 emplace_front, 206
 empty, 220
 equivalent, 259
 error_code, 228, 241
 ExecutionPolicy, 156
 exists, 259
 extract, 213

 false_type, 204
 file_size, 259
 file_status, 236, 257, 258
 file_time_type, 260
 file_type, 236, 256
 filesystem_error, 227
 fold 式, 30
 単項~, 31, 32
 二項~, 31, 33
 左~, 31, 33
 右~, 31, 33
 follow_directory_symlink, 243
 for-range 宣言, 67
 free, 136

 gcd, 222
 generic_string, 234
 get<I>(v), 97
 get<T>(v), 99
 get_default_resource, 138, 140
 get_if<I>(vp), 100
 get_if<T>(vp), 100

 hard_link_count, 260
 has_unique_object_representations<T>, 205
 has_value, 107, 114
 holds_alternative<T>(v), 96
 hypot, 221

 if constexpr, 46
 in_place_type, 120
 increment, 241
 index, 94
 inline
 関数, 75
 関数, 75
 展開, 75
 変数, 75, 78
 insert, 215

索引

insert_or_assign, 208
 insert_return_type, 216
 integral_constant, 201
 IntType, 83
 INVOKE, 195
 invoke, 195
 is_always_lock_free, 221
 is_directory, 257
 is_equal, 134
 is_invocable, 204
 is_invocable_r, 204
 is_lock_free, 221
 is_nothrow_invocable, 204
 is_nothrow_invocable_r, 204
 is_nothrow_swappable<T>, 206
 is_nothrow_swappable_with<T, U>, 206
 is_x, 258
 ISO/IEC 14882, v

 key, 212

 largest_required_pool_block, 146
 last_write_time, 260
 lcm, 223
 lock, 160
 lock_guard, 221

 make_any<T>, 108
 make_from_tuple, 194
 make_optional<T, Args ...>, 120
 make_optional<T>, 119
 malloc, 136, 141
 map, 207, 209
 key, 212
 mapped, 212
 mapped, 212
 max_blocks_per_chunk, 146
 memory_resource, 133
 allocate, 134
 deallocate, 134
 do_allocate, 135, 143
 do_deallocate, 135
 do_is_equal, 135
 free, 136
 get_default_resource, 140
 is_equal, 134
 malloc, 136
 new_delete_resource, 139
 null_memory_resource, 139
 set_default_resource, 140
 merge, 210
 monotonic_buffer_resource, 137, 147
 multi_map, 207
 multimap, 209
 multiset, 209
 mutable, 36

 mutex, 160

 native, 232
 negation, 203
 new, 141
 new_delete_resource, 139
 node_type, 211
 noexcept, 29
 not_fn, 196
 not1, 196
 not2, 196
 null_memory_resource, 139
 null 終端, 121, 126

 ODR (One Definition Rule) , 76
 operator (), 14, 37
 operator delete, 25
 optional, 85, 110
 bool, 115
 has_value, 114
 in_place_type, 120
 make_optional<T, Args ...>, 120
 make_optional<T>, 119
 reset, 117
 std::bad_optional_access, 116
 std::in_place_type<T>, 113
 std::nullopt, 112, 119
 swap, 114
 value, 115
 value_or, 116
 構築, 112
 代入, 113
 ☐☐☐☐☐索引数, 112
 破棄, 113
 比較, 117
 options, 147, 243

 parallel_policy, 159, 160
 parallel_unsequenced_policy, 160
 path, 229, 235
 path::string_type, 233
 path::value_type, 230
 perm_options, 254
 permissions, 236, 254
 perms, 236
 polymorphic_allocator, 137
 ☐☐☐☐☐☐☐, 138
 pool_options, 145, 146
 pop, 244
 Predicate, 157
 preferred_separator, 230
 proximate, 249

 queue, 206

 read_symlink, 262

```

recursion_pending, 245
recursive_directory_iterator, 238, 242
    depth, 244
    directory_options, 242
    disable_recursion_pending, 245
    follow_directory_symlink, 243
    options, 243
    pop, 244
    recursion_pending, 245
refresh, 240
relative, 249
release, 147, 151
remove, 253
remove_all, 253
remove_prefix, 129
remove_suffix, 129
rename, 255
reset, 106, 117
resize_file, 256
rvalue 常量表达式, 1

scoped_enum, 81
searcher, 179
sequenced_policy, 159
set, 209
    value, 212
set_default_resource, 140
SFINAE, 38
shared_ptr::weak_type, 200
shared_ptr<T[]>, 192
size, 220
space, 262
space_info, 262, 263
splice, 209
stack, 206
static_assert
    文字列化, 39
status, 236, 259
status_known, 259
statvfs, 263
std::any, 104
std::apply, 178
std::bad_alloc, 160
std::bad_optional_access, 116
std::basic_string, 123
std::basic_string_view, 123
std::boyer_moore_horspool_searcher, 182
std::boyer_moore_searcher, 180
std::byte, 81, 222
std::chrono_time_point, 260
std::default_searcher, 179
std::error_code, 227, 228
std::execution::par, 156
std::execution::par_unseq, 156
std::execution::seq, 156
std::false_type, 201
std::filesystem, 225
std::filesystem::filesystem_error, 227
std::filesystem::path, 229
std::for_each, 158
std::hardware_constructive_interference_size, 176
std::hardware_destructive_interference_size, 176
std::in_place_type<T>, 90, 105, 113
std::integral_constant, 22
std::is_execution_policy<T>, 161
std::monostate, 89
std::nullopt, 112, 119
std::pmr::memory_resource, 133
std::pmr::polymorphic_allocator, 137
std::sample, 183
std::scoped_lock, 221
std::size_t, 25
std::string, 123
    常量表达式, 130
std::string_view, 123
    常量表达式, 130
std::terminate, 161
std::true_type, 201
std::tuple_size<E>, 71
std::uncaught_exception, 176
std::uncaught_exceptions, 176, 177
std::variant_alternative<I, T>, 96
std::variant_size<T>, 95
std::visit, 103
string, 233
string_type, 230, 233
string_view, 121
    remove_prefix, 129
    remove_suffix, 129
    構築, 125
    操作, 128
    変換関数, 127
swap, 94, 107, 114
symlink_status, 259
synchronized_pool_resource, 142, 145

temp_directory_path, 248
traits, 22
    変数テンプレート版, 201
    論理演算, 202
trivial_clock, 261
true_type, 204
try_emplace, 207
tuple, 178, 194
type, 108, 236
typedef 名, 19

u16string, 233
u16string_view, 123
u32string, 233

```

初期化, 23
 , 141
 R (保管標本), 187
 S (選択標本), 186
 , 133
 宣言, 19
 多項式, 168
 演算子評価順序, 45

型

IntType, 83
 scoped enum, 81
 std::byte, 81
 , 81
 型安全

union, 85

型違定数, 21

型指定子, 9

型非安全, 86

可変長 using 宣言, 79

可変長, 30

関数型 (例外指定), 29

関数宣言, 19

関数, 21

関数戻り値型推定, 8

完全型, 206

機能, 1

機能, 2

, 175

, 175

球関数, 173

球面関数陪関数, 167

宣言, 18

, 14, 37

型, 14

厳格 auto, 9

言語, vi

構造化束縛, 63

完全形名前, 71

, 73

仕様, 69

配列, 69

非 static , 74

, 74

構造化束縛宣言, 67

古典的 union, 86

, 16, 34

関数, 220

data, 220

empty, 220

size, 220

時条件分岐, 46, 49

時定数, 47

最小公倍数, 223

付解放関数, 25

最大公約数, 222
 異種型変換, 14
 異種型変換実行, 161
 指数積分, 174
 実行型, 162
 実行時, 156
 std::execution::par, 156
 std::execution::par_unseq, 156
 std::execution::seq, 156
 条件文
 初期化文付, 56
 条件分岐
 型変換時, 46, 49
 実行時, 46
 型変換時, 48
 初期化文付条件文, 56
 初期化型変換, 15
 型変換, 250
 推定, 59
 数学特殊関数, 165
 型変換多項式, 168
 球面関数, 173
 球面関数陪関数, 167
 指数積分, 174
 第1種完全楕円積分, 169
 第1種球面関数, 173
 第1種不完全楕円積分, 170
 第1種型変換関数, 171
 第1種変形型変換関数, 172
 第2種完全楕円積分, 169
 第2種不完全楕円積分, 170
 第2種変形型変換関数, 172
 第3種完全楕円積分, 169
 第3種不完全楕円積分, 171
 型変換関数, 171
 型変換関数, 168
 型変換多項式, 166
 型変換陪多項式, 166
 型変換関数, 174
 型変換多項式, 166
 型変換陪関数, 167
 数値区切り文字, 5
 型変換, 154
 選択標本, 186
 属性型変換, 4, 62
 属性名前空間, 62

 第1種完全楕円積分, 169
 第1種球面関数, 173
 第1種不完全楕円積分, 170
 第1種型変換関数, 171
 第1種変形型変換関数, 172
 第2種完全楕円積分, 169
 第2種不完全楕円積分, 170
 第2種変形型変換関数, 172
 第3種完全楕円積分, 169

 第3種不完全楕円積分, 171
 量, 30
 多値, 63
 単項 fold 式, 31, 32
 単純宣言, 67
 定義 1 原則, 76
 定数
 型変換, 21
 型変換時, 47
 型変換
 create_directories, 249
 create_directory, 249
 create_directory_symlink, 250
 型変換区切り文字, 230
 型変換, 159
 型変換, 159
 型変換実引数推定, 59
 型変換宣言, 18, 19, 20
 動的型変換, 133
 動的型変換, 137
 型変換, 27

 名前空間
 型変換, 39
 二項 fold 式, 31, 33
 二進数型変換, 5
 型変換, 230
 型変換, 230
 型変換名前空間, 39
 型変換関数, 171
 型変換, 211
 extract, 213
 insert, 215
 insert_return_type, 216
 key, 212
 mapped, 212
 node_type, 211
 value, 212
 取得, 213
 要素追加, 215

 型変換, 81
 型変換数, 81
 型変換干渉, 175
 型変換, 251
 型変換, 236, 254
 型変換, 30
 型変換実行, 162
 型変換非型変換実行, 162
 非 static 型変換, 23
 非型変換, 61
 非順序連想型変換, 209
 merge, 210
 左 fold, 31, 33
 非標準属性, 63
 型変換, 225

索引

- absolute, 248
 - canonical, 248
 - current_path, 248
 - proximate, 249
 - relative, 249
 - temp_directory_path, 248
 - weakly_canonical, 248
 - 取得, 248
 - 操作, 234, 248
- 不完全型, 206
- 浮動小数点数型, 28
- 浮動小数点数型, 27
- largest_required_pool_block, 146
 - max_blocks_per_chunk, 146
 - options, 147
 - pool_options, 145, 146
 - release, 147
 - synchronized_pool_resource, 142, 145
 - unsynchronized_pool_resource, 142, 145
 - upstream_resource, 147
- 型, 9
- 言語 C++, v
- 並列
 - BinaryOperation, 157
 - BinaryOperation1, 157
 - BinaryOperation2, 157
 - BinaryPredicate, 157
 - Compare, 157
 - ExecutionPolicy, 156
 - lock, 160
 - mutex, 160
 - parallel_policy, 159, 160
 - parallel_unsequenced_policy, 160
 - Predicate, 157
 - sequenced_policy, 159
 - std::bad_alloc, 160
 - std::is_execution_policy<T>, 161
 - std::terminate, 161
 - UnaryOperation, 157
 - 実行 実行, 161
 - 実行 実行, 162
 - 実行時, 156
 - 鏡合, 159
 - , 159
 - 実行 実行, 162
- 非 実行, 162
 - 要素 関数, 157
 - 例外, 160
- 関数, 168
- 存在, 3
- 変数宣言, 20
- 変数, 18, 22
- 保管標本, 187
- , 21
 - 右 fold, 31, 33
 - , 18
 - , 140
 - 管理, 196
 - , 133, 140
 - 取得, 139
 - , 142
 - 初期化子, 147
- 初期化子, 23
- 文字型, 121
 - 配列, 121
- 文字列, 230
- 文字列 static_assert, 39
- 文字列, 121
- 文字列, 121
- allocate, 149
 - deallocate, 149
 - do_allocate, 149
 - do_deallocate, 149
 - monotonic_buffer_resource, 147
 - release, 151
 - upstream_resource, 152
 - , 150
- 定義, 130
- 要素 関数, 157
- vi
- 多項式, 166
- 陪多項式, 166
- , 15
- 式, 14, 15, 34, 37
- 乱択, 183
- , 16
- 関数, 174
- 多項式, 166
- 陪関数, 167
- 例外指定, 29
- 連想, 209
 - merge, 210
- 論理演算 traits, 202

●本書は対面質問会、電子メール (info@asciidwango.jp) によるお問い合わせ。
但し、本書の記述内容を超える質問や回答は行いません、ご了承ください。

江添亮 C++17 入門 (仮)

2018 年 x 月 x 日 初版発行

著 者 江添 亮
発行者 川上量生
発 行 株式会社
〒104-0061
東京都中央区銀座 4-12-15 歌舞伎座
編集 03-3549-6153
電子メール info@asciidwango.jp
http://asciidwango.jp/
発 売 株式会社 KADOKAWA
〒102-8177
東京都千代田区富士見 2-13-3
営業 0570-002-301 (フリーダイヤル・全国)
受付時間 9:00~17:00 (土日 祝日 年末年始除く)
http://www.kadokawa.co.jp/

印刷・製本 株式会社

Printed in Japan

落丁・乱丁本を取り替えます。下記 KADOKAWA 読者係に連絡してください。
送料小社負担を取り替えます。
但し、古書店で本書を購入した場合、取り替えません。
電話 049-259-1100 (9:00-17:00/土日、祝日、年末年始除く)
〒354-0041 埼玉県入間郡三芳町藤久保 550-1
定価は表示します。

ISBN: 978-4-04-xxxxx-x

編集部
編 集 星野浩章