

Boostライフライリー周の旅

ver.1.53.0(Merge)

高橋 晶 (Akira Takahashi)
[id:faith_and_brave](#)
[@cpp_akira](#)

この資料は

- Boostに興味があるけど触ったことがない
- バージョンアップについていけなくなった
- Boostの全容を知りたい

といった方のために、**Boost 1.53.0**時点での
なるべく全てのライブラリの概要を知ってもらう
ためのものです

- C++標準化委員会の人たちが作ったC++のライブラリ群
- 普段のプログラミング全般で使える基本的なものから、専門特化したものまでいろいろなライブラリがある
- Google、Intel、Adobeも開発に関わっている
- ライセンスはBoost Software License 1.0
 - 無償で商用利用可能
 - 著作権表記の必要なし
 - ソースコードの改変自由

01.Accumulators
02.Algorithm
03.Any
04.Array
05.Asio
06.Assign
07.Atomic
08.Bimap
09.Bind
10.Chrono
11.Circular Buffer
12.Compressed Pair
13.Concept Check
14.Container
15.Conversion
16.Coroutine
17.CRC
18.Date Time
19.Dynamic Bitset
20.Enable If
21.Exception
22.Filesystem
23.Flyweight
24.Foreach

25.Format
26.Function
27.Function Types
28.Fusion
29.Geometry
30.GIL
31.Graph
32.Heap
33.Identity Type
34.Interprocess
35.Interval
36.Interval Container
37.Intrusive
38.IO State Server
39.lostreams
40.Iterators
41.Lambda
42.Local Function
43.Lockfree
44.Math
45.Member Function
46.Meta State Machine
47.Move
48.MPL

49.Multi Array
50.Multi Index
51.Multiprecision
52.Numeric Conversion
53.Odeint
54.Operators
55.Optional
56.Overloaded Function
57.Parameter
58.Phoenix
59.Pointer Container
60.Polygon
61.Pool
62.Preprocessor
63.Property Map
64.Property Tree
65.Proto
66.Python
67.Random
68.Range
69.Ref
70.Scope Exit
71.Serialization
72.Signals2

73.Smart Pointers
74.Spirit
75.Static Assert
76.String Algo
77.Swap
78.System
79.Test
80.Thread
81.Timer
82.Tokenizer
83.Tribool
84.Tuple
85.Typeof
86.uBLAS
87.Units
88.Unordered
89.Utility
90.Uuid
91.Variant
92.Wave
93.Xpressive

1分でわかるテンプレートメタプログラミング

テンプレートのインスタンス化を利用して

あらゆるコンパイル時計算を行うパラダイム。

プログラミングの対象はプログラム自身のメタな情報

テンプレートパラメータ : 関数のパラメータ
クラス中のtypedef : 戻り値
と見なしたクラスを**メタ関数**という。

条件分岐 : テンプレートの特殊化
ループ : メタ関数の再帰呼び出し
で表現できる。

T型を受け取り、N個の*(ポインタ)付加した 型を返すメタ関数

```
template <class T, int N> // パラメータ
struct add_ptrs {
    // 再帰
    typedef typename add_ptrs<T*, N-1>::type type;
};
```

```
template <class T>
struct add_ptrs<T, 0> { // 条件分岐
    typedef T type; // 戻り値
};
```

```
typedef add_ptrs<int, 3>::type type; // 呼び出し
// type == int***
```


「Boostライブラリ 一周の旅」
はじめます！

拡張可能な統計計算フレームワーク

```
using namespace boost;

accumulator_set<int, features<tag::min, tag::sum> > acc;

acc(1);
acc(2);
acc(3);

cout << "Min: " << min(acc) << endl; // 1
cout << "Sum: " << sum(acc) << endl; // 6
```

アルゴリズム集。文字列検索、C++11アルゴリズム、ユーティリティが含まれる

```
std::string text =  
    "the stick, and made believe to worry it: then Alice dodged behind a";  
std::string pattern = "behind";  
  
// BM法で文字列検索  
decltype(text)::const_iterator it =  
    boost::algorithm::boyer_moore_search(text.begin(), text.end(),  
                                          pattern.begin(), pattern.end());  
  
if (it != text.end()) std::cout << "found" << std::endl;  
else                  std::cout << "not found" << std::endl;
```

found

アルゴリズム集。文字列検索、C++11アルゴリズム、ユーティリティが含まれる

```
const std::vector<int> v = {2, 4, 6, 8, 10};  
  
// 全ての値が偶数かを調べる  
bool result = boost::algorithm::all_of(v, is_even);  
  
std::cout << std::boolalpha << result << std::endl;
```

```
true
```

アルゴリズム集。文字列検索、C++11アルゴリズム、ユーティリティが含まれる

```
using boost::algorithm::clamp;

// xを0～10の範囲に丸める : min(max(a, x), b)

int x = 11;
x = clamp(x, 0, 10); // x == 10

int y = -1;
y = clamp(y, 0, 10); // x == 0
```

あらゆる型を保持できる動的型

```
list<boost::any> ls;
ls.push_back(1);           // int
ls.push_back(string("abc")); // string
ls.push_back(3.14);        // double

while (!ls.empty()) {
    boost::any& a = ls.front();

    if (a.type() == typeid(int)) { int i = boost::any_cast<int>(a); }
    if (a.type() == typeid(string)) ...
    if (a.type() == typeid(double)) ...

    ls.pop_front();
}
```

配列(コンテナのインタフェースが使える)

```
boost::array<int, 3> ar = {1, 2, 3};
```

```
for (size_t i = 0; i < ar.size(); ++i)  
    cout << ar[i] << endl;
```

```
for_each(ar.begin(), ar.end(), f);
```

非同期ネットワークライブラリ

```
using namespace boost::asio;

void connection(int port)
{
    io_service io;
    tcp::acceptor acc(io, tcp::endpoint(tcp::v4(), port));

    for (;;) {
        tcp::iostream s;
        acc.accept(*s.rdbuf());

        string line;
        while (getline(s, line)) {
            cout << line << endl;
        }
    }
}
```


コンテナの簡易構築

```
using namespace boost::assign;
```

```
vector<int> v;
```

```
v += 3, 1, 4;
```

```
list<int> ls = list_of(3)(1)(4);
```

```
map<string, int> m;
```

```
insert(m)( "Akira" , 24)( "Millia" , 16)( "Johnny" , 38);
```

C++11アトミックライブラリのC++03実装。

共有データ

```
int data;  
atomic<bool> ready(false); // アトミックなbool型変数
```

スレッド1

```
while (!ready.load(memory_order_acquire)) {} // 書き込まれるまで待機  
std::cout << data << std::endl; // 3が出力されることが保証される
```

スレッド2

```
data = 3;  
ready.store(true, memory_order_release); // 書き込み
```

双方向map

bimap<X, Y>は、std::map<X, Y>とstd::map<Y, X>両方の用途

```
typedef boost::bimaps::bimap<int, string> bm_type;

bm_type m;

m. left. insert (bm_type::left_value_type (3, "Akira"));
m. right. insert (bm_type::right_value_type ("Millia", 1));

cout << m. left. at (3)                << endl; // Akira
cout << m. right. at ("Millia") << endl; // 1

cout << m. right. at ( "Akira" ) << endl; // 3
cout << m. left. at (1)           << endl; // Millia
```

部分評価

```
void foo(int x, int y) {} // 3 : 3と4が渡される
```

```
template <class F>
```

```
void bar(F f)
```

```
{
```

```
    f(4); // 2 : 残りの引数を渡す
```

```
}
```

```
bar(boost::bind(foo, 3, _1)); // 1 : 2引数のうち、1つだけ渡す
```

時間計算のためのライブラリ。

C++11標準ライブラリに導入されたものと、その拡張。

```
// 500ナノ秒遅延する
namespace chrono = boost::chrono;

auto go = chrono::steady_clock::now() + chrono::nanoseconds(500);
while (chrono::steady_clock::now() < go)
    ;
```

様々な時間の単位と、いくつかの特性をもった時計クラスが提供される。CPU時間を扱う拡張もある。

循環バッファ

バッファがいっぱいになったら上書きしていく

```
boost::circular_buffer<int> buff(3);
```

```
buff.push_back(1); buff.push_back(2); buff.push_back(3);
```

```
int a = buff[0]; // a : 1
```

```
int b = buff[1]; // b : 2
```

```
int c = buff[2]; // c : 3
```

```
buff.push_back(4); buff.push_back(5);
```

```
a = buff[0]; // a : 3
```

```
b = buff[1]; // b : 4
```

```
c = buff[2]; // c : 5
```

テンプレート引数のどちらかが空クラスだった場合に最適化されやすいpair

```
struct hoge {}; // empty class
```

```
boost::compressed_pair<hoge, int> p(hoge(), 1);
```

```
hoge& h = p.first();
```

```
int& i = p.second();
```

テンプレートパラメータの制約

(C++0xでお亡くなりになられたアレのライブラリ版)

```
template <class Iterator>
void my_sort(Iterator first, Iterator last)
{
    BOOST_CONCEPT_ASSERT((boost::RandomAccessIterator<Iterator>));
    std::sort(first, last);
}

list<int> ls;
my_sort(ls.begin(), ls.end());
```


Concept Checkを使わない場合のエラーメッセージ(VC9)

error C2784:

'reverse_iterator<_RanIt>::difference_type

std::operator -(const std::reverse_iterator<_RanIt> &,const
std::reverse_iterator<_RanIt2> &)'

: テンプレート 引数を 'const std::reverse_iterator<_RanIt> &' に対して
'std::list<_Ty>::_Iterator<_Secure_validation>' から減少できませんでした

'std::operator -' の宣言を確認してください。

...

全然わからない！

Concept Checkを使った場合のエラーメッセージ(VC9)

error C2676:

二項演算子 '+=' : 'std::list<_Ty>::_Iterator<_Secure_validation>' は、
この演算子または定義済の演算子に適切な型への変換の定義を行いません。

クラス テンプレート のメンバ関数

'boost::RandomAccessIterator<TT>::~~RandomAccessIterator(void)' の
コンパイル中

...

かなりよくなった

標準コンテナのBoost実装。

placement insertやmoveなどの最新の仕様が提供される。

```
struct Person {  
    int id;  
    std::string name;  
    Person() {}  
    Person(int id, const std::string& name) : id(id), name(name) {}  
};
```

```
boost::container::vector<Person> v;
```

```
// これまで通りのpush_backだが、一時オブジェクトならmoveされる  
v.push_back({1, "Alice"});
```

```
// 関数内部でコンストラクタを呼び出すplacement insert  
v.emplace_back(2, "Bob");
```

型変換ライブラリ

```
// lexical_cast : 数値と文字列の相互変換  
int          n = boost::lexical_cast<int>( "123" );  
std::string s = boost::lexical_cast<std::string>(123);
```

```
Base* b;
```

```
// polymorphic_downcast : アサート + static_cast  
Derived* d = boost::polymorphic_downcast<Derived*>(b);
```

```
// polymorphic_cast : 失敗時は例外を投げるdynamic_cast  
Derived* d = boost::polymorphic_cast<Derived*>(b);
```

処理の中断と再開を制御する、コルーチンのライブラリ。

```
typedef coroutine<void()> coroutine;

void f(coroutine::caller_type& coro) {
    for (int i = 0; i < 10; ++i) {
        std::cout << "a ";
        coro(); // 中断
    }
}

coroutine c(f); // 関数f()をコルーチン実行可能にする
for (int i = 0; i < 10; ++i) {
    std::cout << "b ";
    c(); // 再開
}
```

a b a b a b a b ...

CRC計算

```
// "123456789"のASCIIコード
unsigned char const data[] =
    { 0x31, 0x32, 0x33, 0x34, 0x35, 0x36, 0x37, 0x38, 0x39 };
std::size_t const data_len = sizeof(data) / sizeof(data[0]);

boost::uint16_t const expected = 0x29B1;

// CRC-CCITT
boost::crc_basic<16> crc_ccitt1(0x1021, 0xFFFF, 0, false, false);
crc_ccitt1.process_bytes(data, data_len);
assert(crc_ccitt1.checksum() == expected);
```

日付・時間ライブラリ

```
using namespace boost::gregorian;  
using namespace boost::posix_time;  
  
ptime now = second_clock::local_time();  
  
// 日付計算  
date today      = now.date();  
date tomorrow = today + date_duration(1);  
  
// 時間計算  
ptime t = now + minutes(3);
```

大きさを動的に変えられるbitset

```
boost::dynamic_bitset<> bs(10);  
  
// 偶数番目のビットを立てる  
for (size_t i = 0; i < bs.size(); ++i) {  
    if (i % 2 == 0)  
        bs[i] = 1; // 添字アクセス  
}  
  
cout << bs << endl; // 0101010101
```


型特性によるオーバーロード

```
template <class T>
void f(T x, typename enable_if<is_integral<T> >::type* = 0)
{ cout << "整数型" << endl; }

template <class T>
void f(T x, typename disable_if<is_integral<T> >::type* = 0)
{ cout << "整数型以外" << endl; }

int i; char c; double d;

f(i); // int : 整数型
f(c); // char : 整数型
f(d); // double : 整数型以外
```

catchする度にエラー情報を付加する

```
class MyException : public boost::exception, public std::exception {};
typedef boost::error_info<struct tag_errmsg, string> error_message;

void g() { BOOST_THROW_EXCEPTION(MyException()); }

void f() {
    try { g(); }
    catch (MyException& e) {
        e << error_message(“何か悪いことをした”); // エラー情報を付加し
て
        throw; // 再スロー
    }
}

try { f(); }
catch (MyException& e) { // 階層的に情報が付加された例外を受け取る
    cout << boost::diagnostic_information(e) << endl; // 表示
}
```

パス、ファイル、ディレクトリ操作

```
using namespace boost::filesystem;

remove_all( "my_dir" );           // ディレクトリ内のファイル削除

create_directory( "my_dir" );     // ディレクトリ作成

ofstream file( "my_dir/a.txt" ); // ファイル書き込み
file << "test¥n";
file.close();

if ( !exists( "my_dir/a.txt" ) ) // ファイルの存在チェック
    std::cout << "ファイルがない¥n";
```

pathの日本語対応等。

stringとwstringの両方を使用するためにオーバーロードが必要なくなったり。

```
#define BOOST_FILESYSTEM_VERSION 3
#include <boost/filesystem.hpp>
```

```
void foo(const boost::filesystem::path& path) {}
```

```
int main()
{
    foo("english");
    foo(L"日本語"); // v2ではエラー
}
```

リソースの共有

```
using boost::flyweights::flyweight;  
  
flyweight<std::string> f1("abc");  
flyweight<std::string> f2("abc");  
  
// f1とf2は同じオブジェクトを指している  
assert(&f1.get() == &f2.get());
```

foreach文。コンテナ/配列を順番に処理する

```
vector<string> v;  
v.push_back("abc");  
v.push_back("123");  
v.push_back("xyz");
```

```
BOOST_FOREACH (const string& s, v) {  
    cout << s << endl;  
}
```

```
abc  
123  
xyz
```

文字列のフォーマット

```
// sprintf風のフォーマット
```

```
string s1 = (boost::format("this year is %d.") % 2009).str();  
cout << s1 << endl; // this year is 2009.
```

```
// プレースホルダーによるフォーマット
```

```
string s2 = (boost::format("next year is %1%.") % 2010).str();  
cout << s2 << endl; // next year is 2010
```

汎用関数オブジェクト

テンプレート引数は関数の型ではなく関数の形(戻り値の型とパラメータの型)

```
int func(double) { return 1; }

struct functor {
    typedef int result_type;
    int operator()(double) const { return 2; }
};

// 関数ポインタ
boost::function<int(double)> f1 = func;
int r1 = f1(3.14);

// 関数オブジェクト
boost::function<int(double)> f2 = functor();
int r2 = f2(3.14);
```


関数の型情報を取得するメタ関数

```
using namespace boost::function_types;
```

```
// 型が関数ポインタかどうか判別
```

```
bool b = is_function_pointer<bool (*) (int)>::value; // == true
```

```
// 関数(関数ポインタ or 関数オブジェクト)の戻り値の型を取得
```

```
typedef result_type<bool (&) (int)>::type result_type; // is bool
```

様々なデータ構造を持つ

コンパイル時 & 実行時タプルライブラリ

```
struct disp {  
    template <class T>  
    void operator () (T x) const { cout << x << endl; }  
};
```

```
using namespace boost::fusion;
```

```
// コンパイル時のタプル(型リスト)操作 : 一番後ろの型を取り除く
```

```
typedef vector<int, double, string, string>          typelist;  
typedef result_of::pop_back<typelist>::type          unique_typelist;  
typedef result_of::as_vector<unique_typelist>::type  vector_type;
```

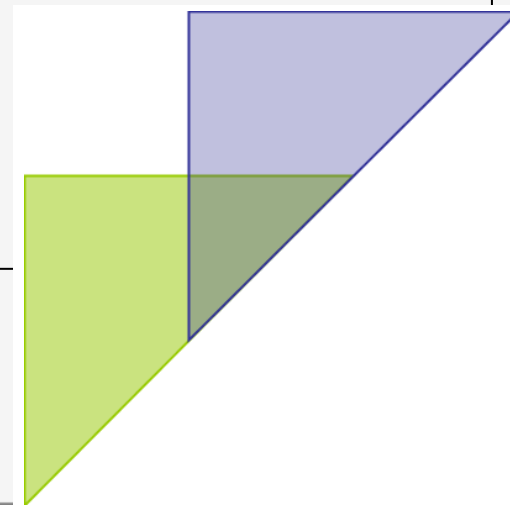
```
// 実行時のタプル操作 : タプルの全要素を出力
```

```
vector_type v(1, 3.14, "abc");  
for_each(v, disp());
```

計算幾何のライブラリ。

N次元の点、線、三角形、四角形などのモデルと、それらに対するアルゴリズムが提供される。

```
polygon a, b;  
geometry::exterior_ring(a) =  
    assign::list_of<point>(0, 0) (3, 3) (0, 3) (0, 0);  
  
geometry::exterior_ring(b) =  
    assign::list_of<point>(1.5, 1.5) (4.5, 4.5) (1.5, 4.5) (1.5, 1.5);  
  
// 2つのポリゴンが交わっているか  
const bool result = geometry::intersects(a, b);  
BOOST_ASSERT(result);
```



画像処理

```
using namespace boost::gil;

rgb8_image_t img;
jpeg_read_image("a.jpg", img);

// 100x100にリサイズ
rgb8_image_t square (100, 100);
resize_view(const_view(img),
            view(square),
            bilinear_sampler());
jpeg_write_view("out-resize.jpg", const_view(square));
```

グラフ構造

```
typedef adjacency_list<vecS, vecS, bidirectionalS> Graph;
```

```
// 頂点のため便宜上のラベルを作る
```

```
enum { A, B, C, D, E, N };
```

```
const int num_vertices = N;
```

```
// グラフの辺を書き出す
```

```
typedef std::pair<int, int> Edge;
```

```
Edge edge_array[] =
```

```
{ Edge(A, B), Edge(A, D), Edge(C, A), Edge(D, C),  
  Edge(C, E), Edge(B, D), Edge(D, E) };
```

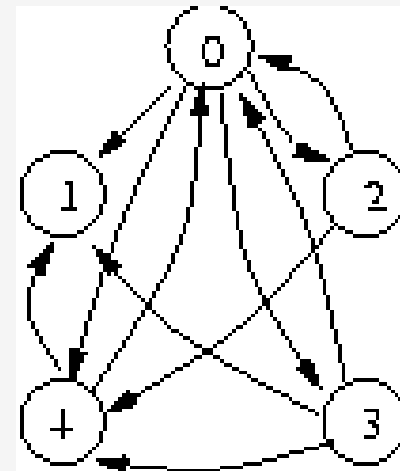
```
const int num_edges = sizeof(edge_array)/sizeof(edge_array[0]);
```

```
Graph g(num_vertices); // グラフオブジェクトを宣言
```

```
// グラフオブジェクトに辺を追加
```

```
for (int i = 0; i < num_edges; ++i)
```

```
    add_edge(edge_array[i].first, edge_array[i].second, g);
```



優先順位付きキューのデータ構造

```
boost::heap::fibonacci_heap<int> que; // フィボナッチヒープ

que.push(3);
que.push(1);
que.push(4);

while (!que.empty()) {
    std::cout << que.top() << std::endl;
    que.pop();
}
```

4
3
1

Boost.Heapの特徴：

- 要素の修正ができる (Mutability)
- イテレータを持っている (Iterators)
- マージできる (Mergable)
- 安定 (Stability)

関数マクロに渡す引数でカンマを付けれるようにする

```
std::map<int, int> m = {{1, 3}, {2, 4}};
```

```
BOOST_FOREACH(
```

```
    BOOST_IDENTITY_TYPE((std::map<int, int>))::const_reference x, m) {  
        std::cout << x.first << ", " << x.second << std::endl;  
    }
```

1, 3

2, 4

プロセス間共有メモリ

```
int main(int argc, char* argv[])
{
    using namespace boost::interprocess;
    typedef pair<double, int> MyType;

    if (argc == 1) {
        managed_shared_memory shm(create_only, "MySharedMemory", 128);

        // MyTypeのオブジェクトを作成して初期化
        MyType* a = shm.construct<MyType>("MyType instance") (0.0, 0);
    } else {
        managed_shared_memory shm(open_only, "MySharedMemory");

        pair<MyType*, size_t> res = shm.find<MyType>("MyType instance");
        shm.destroy<MyType>("MyType instance");
    }
}
```

区間演算

```
using namespace boost::numeric;

// 区間内かどうかのチェック
interval<double> range(1.0, 5.0);
assert(in(3.0, range));

// 区間同士の計算
interval<double> x(2, 3);
interval<double> y(1, 4);
interval<double> z = x + y;
cout << z << endl; // [3, 7]
```

区間演算のコンテナを提供するライブラリ。

```
typedef std::set<string> guests;  
interval_map<ptime, guests> party;  
party += make_pair(interval<ptime>::right_open(  
    time_from_string("20:00"),  
    time_from_string("22:00")),  
    make_guests("Mary"));  
  
party += make_pair(interval<ptime>::right_open(  
    time_from_string("21:00"),  
    time_from_string("23:00")),  
    make_guests("Harry"));
```

[20:00, 21:00) → {"Mary"}

[21:00, 22:00) → {"Harry", "Mary"} // 時間帯が重なっていたら集約される

[22:00, 23:00) → {"Harry"}

侵入コンテナ

オブジェクトのコピーではなくオブジェクト自身を格納する

```
using namespace boost::intrusive;

class Window : public list_base_hook<> {
public:
    typedef list<Window> window_list;
    static window_list windows;

    Window() { windows.push_back(*this); }
    virtual ~Window() { windows.erase(window_list::s_iterator_to(*this)); }
    virtual void Paint() = 0;
};

Window::window_list Window::windows;

void paint_all_windows() {
    for_each(Window::windows, boost::mem_fn(&Window::Paint));
}
```

IO Streamの状態管理

```
void hex_out(std::ostream& os, int x)
{
    boost::io::ios_flags_saver ifs(os);
    os << std::hex << x << endl;
} // ここでstreamの状態が戻る

int x = 20;
cout << x << endl; // 20 : 10進(状態変更前)
hex_out(cout, x); // 14 : 16進(状態変更)
cout << x << endl; // 20 : 10進(状態が戻ってる)
```

拡張IO Streamライブラリ。

streamクラスを簡単に作るLibrary for Librariesであり、
パイプ演算子によるフィルタ設定, etc...

```
namespace io = boost::iostreams;
struct upper_filter : io::stdio_filter {
    void do_filter() {
        int c;
        while ((c = std::cin.get()) != EOF)
            std::cout.put(std::toupper((unsigned char)c));
    }
};
BOOST_IOSTREAMS_PIPEABLE(upper_filter, 0)

// 大文字に変換して、gzip圧縮して、ファイルに出力
io::filtering_ostream out(upper_filter()
                           io::gzip_compressor()
                           io::file_sink("a.txt"));
out << "aiueo" << std::endl;
```

イテレータを簡単に作るためのライブラリ

```
class count_iterator : public boost::iterator_facade<
    count_iterator, const int, boost::forward_traversal_tag> {
public:
    count_iterator(int x) : x_(x) {}
private:
    friend class boost::iterator_core_access;

    void      increment() { ++x_; }
    const int& dereference() const { return x_; }
    bool      equal(const count_iterator& other) const
        { return x_ == other.x_; }

    int x_;
};

copy(count_iterator(0), count_iterator(5),
    ostream_iterator<int>(cout, "")); // 01234
```

ラムダ式。その場で関数オブジェクトを作成する

```
using namespace boost::lambda;

vector<int> v;
v.push_back(1); v.push_back(2); v.push_back(3);

for_each(v.begin(), v.end(), cout << _1 << ' '); // 1 2 3
```

```
cout << _1 << ' ';
```

でこんな感じの関数オブジェクトができると思ってもらえれば。

```
struct F {
    template <class T>
    ostream& operator() (const T& x) const
    { return cout << x << ' ' ; }
};
```


ローカル関数を定義する

```
int main()
{
    int sum = 0;

    void BOOST_LOCAL_FUNCTION(bind& sum, int x) {
        sum += x;
    } BOOST_LOCAL_FUNCTION_NAME(add);

    const std::vector<int> v = {1, 2, 3, 4, 5};
    boost::for_each(v, add);

    std::cout << sum << std::endl;
}
```

Boost.Atomicベースのロックフリーコンテナライブラリ。
キュー、スタック、優先順位付きキューの実装がある。

```
lockfree::queue<int> que(128);

void producer() {
    for (int i = 0;; ++i) {
        while (!que.push(i)) {}
    }
}

void consumer() {
    for (;;) {
        int x = 0;
        if (que.pop(x))
            std::cout << x << std::endl;
    }
}
```

数学の特殊関数とか

```
using namespace boost::math;
```

```
cout << factorial<double>(3) << endl; // 階乗          : 6  
cout << round(3.14)          << endl; // 四捨五入      : 3  
cout << gcd(6, 15)           << endl; // 最大公約数    : 3
```

std::mem_funとstd::mem_fun_refを一般化したもの

```
struct button {  
    explicit button(const point p);  
    void draw() const;  
};  
  
vector<button> v;  
v.push_back(button( 10, 10));  
v.push_back(button( 10, 30));  
v.push_back(button(200, 180));  
  
// 全てのbuttonのdrawメンバ関数を呼ぶ  
for_each(v.begin(), v.end(), boost::mem_fn(&button::draw));
```

状態マシンライブラリ。状態遷移表を直接記述する。

```
namespace msm = boost::msm;
struct Active : msm::front::state<> {};
struct Stopped : msm::front::state<> {};
struct StartStopEvent {};
struct ResetEvent {};

struct Stopwatch_ : msm::front::state_machine_def<Stopwatch_> {
    typedef Stopped initial_state;
    struct transition_table : boost::mpl::vector<
//          Start      Event      Next
        _row<Active, StartStopEvent, Stopped>,
        _row<Active, ResetEvent, Stopped>,
        _row<Stopped, StartStopEvent, Active>
    > {};
};

typedef msm::back::state_machine<Stopwatch_> Stopwatch;
```

状態マシンライブラリ。状態遷移表を直接記述する。

```
int main()
{
    Stopwatch watch;

    watch.start();
    watch.process_event(StartStopEvent()); // stop -> run
    watch.process_event(StartStopEvent()); // run -> stop
    watch.process_event(StartStopEvent()); // stop -> run
    watch.process_event(ResetEvent());      // run -> stop
}
```

テンプレートメタプログラミングのライブラリ

```
template <class T>
struct add_ptr { typedef T* type; };

using namespace boost::mpl;

typedef vector<int, char> vec1; // {int, char}
typedef push_back<vec1, double>::type vec2; // {int, char, double}
typedef reverse<vec2>::type vec3; // {double, char, int}
typedef transform<vec3, add_ptr<_> >::type vec4; // {double*, char*, int*}

typedef vector<double*, char*, int*> result;
BOOST_MPL_ASSERT(( equal<vec4, result> )); // OK
```

ムーブセマンティクスのC++03実装。
一時オブジェクトのコストを軽減する。

```
template <class T>
void swap(T& a, T& b)
{
    T tmp(boost::move(a));
    a = boost::move(b);
    b = boost::move(tmp);
}
```


多次元配列

```
typedef boost::multi_array<int, 3> Array;  
Array ar(boost::extents[3][4][2]);  
  
int value = 0;  
for (size_t i = 0; i < ar.size(); ++i)  
    for (size_t j = 0; j < ar[i].size(); ++j)  
        for (size_t k = 0; k < ar[i][j].size(); ++k)  
            ar[i][j][k] = value++;
```

複数のソート順、アクセス順序を持たせることのできるコンテナ

```
using namespace boost::multi_index;
typedef multi_index_container<
    std::string,
    indexed_by<
        sequenced<>,
        ordered_non_unique<identity<std::string> >
    >
> container;
```

```
container words;
words.push_back("C++");
words.push_back("Action Script");
words.push_back("Basic");
```

```
copy(words, ostream_iterator<string>(cout, "\n")); // #1 入れた順
```

```
const container::nth_index<1>::type& c = words.get<1>();
copy(c, ostream_iterator<string>(cout, "\n")); // #2 辞書順
```

#1 入れた順(sequenced)
C++
Action Script
Basic

#2 辞書順(ordered)
Action Script
Basic
C++

多倍長演算ライブラリ。無限長の整数などを扱える。

```
// 100の階乗を計算する
cpp_int x = 1;
for (std::size_t i = 1; i <= 100; ++i)
    x *= i;

std::cout << x << std::endl;
```

```
9332621544394415268169923885626670049071596826438162146859296389521759
9993229915608941463976156518286253697920827223758251185210916864000000
00000000000000000000
```

数値型の型変換

```
typedef boost::numeric::converter<int, double> DoubleToInt;

try {
    int x = DoubleToInt::convert(2.0);
    assert(x == 2);

    double m = boost::numeric::bounds<double>::highest();
    int y = DoubleToInt::convert(m);
    // デフォルトではpositive_overflowを投げる
}
catch (boost::numeric::positive_overflow& ex) {
    cout << ex.what() << endl;
}
```

常微分方程式を解くためのライブラリ。カオス理論、振り子の計算など。以下はローレンツ方程式の例。

```
const double sigma = 10.0;
const double R = 28.0;
const double b = 8.0 / 3.0;
typedef boost::array< double , 3 > state_type;

void lorenz( const state_type &x , state_type &dxdt , double t ) {
    dxdt[0] = sigma * ( x[1] - x[0] );
    dxdt[1] = R * x[0] - x[1] - x[0] * x[2];
    dxdt[2] = -b * x[2] + x[0] * x[1];
}

void write_lorenz( const state_type &x , const double t )
{ cout << t << '¥t' << x[0] << '¥t' << x[1] << '¥t' << x[2] << endl; }

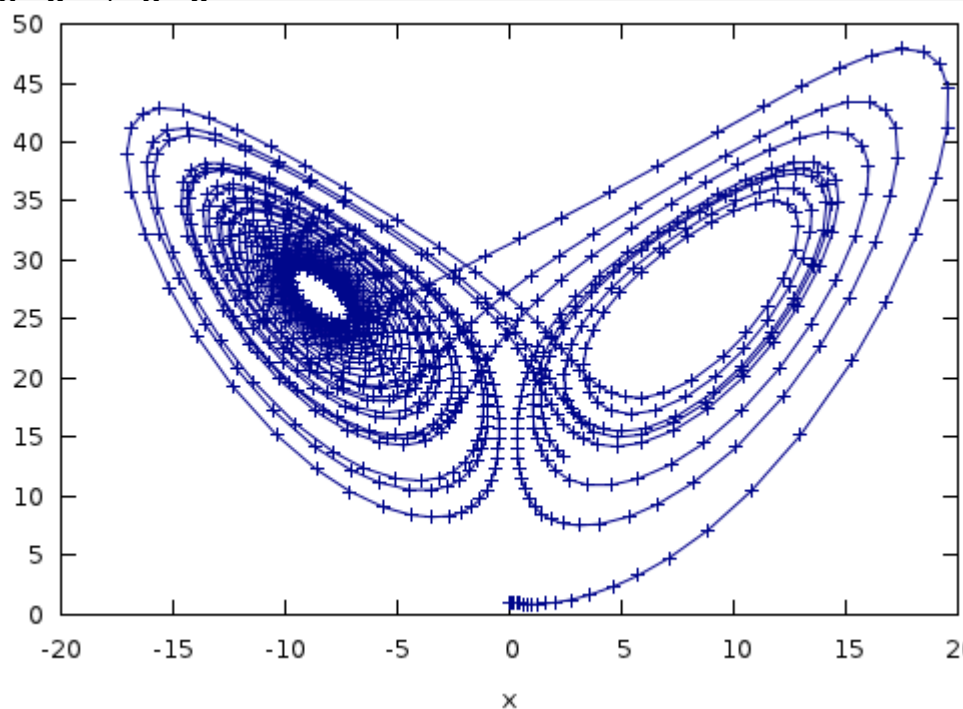
state_type x = { 10.0 , 1.0 , 1.0 }; // initial conditions
integrate( lorenz , x , 0.0 , 25.0 , 0.1 , write_lorenz );
```

常微分方程式を解くためのライブラリ。カオス理論、振り子の計算など。以下はローレンツ方程式の例。

```
const double sigma = 10.0;  
const double R = 28.0;  
const double b = 8.0 / 3.0;  
typedef boost::
```

```
void lorenz( const state_type& x, double t, double dt, double* dxdt )  
{  
    dxdt[0] = sigma * ( x[1] - x[0] );  
    dxdt[1] = R * x[0] - x[1] - x[0] * x[2];  
    dxdt[2] = x[0] * x[1] - b * x[2];  
}
```

```
void write_lorenz( const state_type& x, double t )  
{ cout << t << " " << x[0] << " " << x[1] << " " << x[2] << endl; }
```



```
le t ) {  
    }  
} << endl; }
```

```
state_type x = { 10.0 , 1.0 , 1.0 }; // initial conditions  
integrate( lorenz , x , 0.0 , 25.0 , 0.1 , write_lorenz );
```

関連する演算子の自動生成

```
class person : boost::less_than_comparable<person> {  
    int id_  
public:  
    explicit person(int id) : id_(id) {}  
  
    // operator<を定義すれば、>, <=, >=が自動生成される  
    friend bool operator<(const person& lhs, const person& rhs)  
        { return lhs.id_ < rhs.id_; }  
};  
  
person a(1);  
person b(2);  
  
bool c = a < b;  
bool d = a > b;  
bool e = a <= b;  
bool f = a >= b;
```

有効な値と、無効な値

エラー値が-1だったり空文字列だったりするので統一する

```
boost::optional<int> find(const vector<int>& v, int x)
{
    vector<int>::const_iterator it = find(v.begin(), v.end(), x);
    if (it != v.end())
        return x;           // 見つかったら有効な値を返す
    return boost::none;     // 見つからなかったら無効な値を返す
}

vector<int> v;
v.push_back(1); v.push_back(2); v.push_back(3);

boost::optional<int> p = find(v, 1);
if (p)
    cout << "found : " << p.get() << endl; // found : 1
else
    cout << "not found" << endl;
```


複数の関数から、オーバーロードする
関数オブジェクトを作る。

```
const std::string& identity_s(const std::string& s) { return s; }  
int identity_n(int x) { return x; }  
double identity_d(double x) { return x; }
```

```
boost::overloaded_function<  
    const std::string& (const std::string&),  
    int (int),  
    double (double)  
> identity(identity_s, identity_n, identity_d);
```

```
std::string s = "hello"; s = identity(s);  
int n = 2; n = identity(n);  
double d = 3.14; d = identity(d);
```

名前付き引数

```
BOOST_PARAMETER_NAME(name)
```

```
BOOST_PARAMETER_NAME(age)
```

```
template <class Args>
void print(const Args& args)
{
    cout << args[_name] << ", " << args[_age] << endl;
}
```

```
print((_name="Akira", _age=24));
```

```
print((_age=24, _name="Akira"));
```

```
Akira, 24
```

```
Akira, 24
```

新たなラムダ式のライブラリ。

通常の関数を部分適用可能な形式にアダプトしたりできる。

関数オブジェクトを返すSTL風アルゴリズムも提供される。

```
namespace ns {  
    int plus(int a, int b) { return a + b; }  
}  
  
BOOST_PHOENIX_ADAPT_FUNCTION(int, plus, ns::plus, 2)  
  
using namespace boost::phoenix::arg_names;  
  
int result = plus(arg1, 2)(3); // plus関数を部分適用  
std::cout << result << std::endl;
```

5

ヒープオブジェクトを格納するためのコンテナ
スマートポインタのコンテナよりもコストが低い

```
struct drawable {  
    virtual void draw() const = 0;  
};  
struct rectangle : drawable { void draw() const {} };  
struct circle : drawable { void draw() const {} };  
  
boost::ptr_vector<drawable> v;  
  
v.push_back(new rectangle());  
v.push_back(new circle());  
  
v.front().draw();
```

メモリプール

```
struct X {  
    ...  
};  
  
void f()  
{  
    boost::object_pool<X> pool;  
  
    for (int i = 0; i < 1000; i++) {  
        X* x = pool.malloc();  
  
        ... xを使って何かする...  
    }  
} // ここでpoolのメモリが解放される
```

プリプロセッサメタプログラミングのライブラリ
コードの自動生成とかに使う(可変引数とか)

```
#define MAX 3
#define NTH(z, n, data) data ## n

int add(BOOST_PP_ENUM_PARAMS(MAX, int x))
{
    return BOOST_PP_REPEAT(MAX, NTH, + x);
}

assert(add(1, 2, 3) == 6);
```

```
int add( int x0 , int x1 , int x2)
{
    return + x0 + x1 + x2;
}

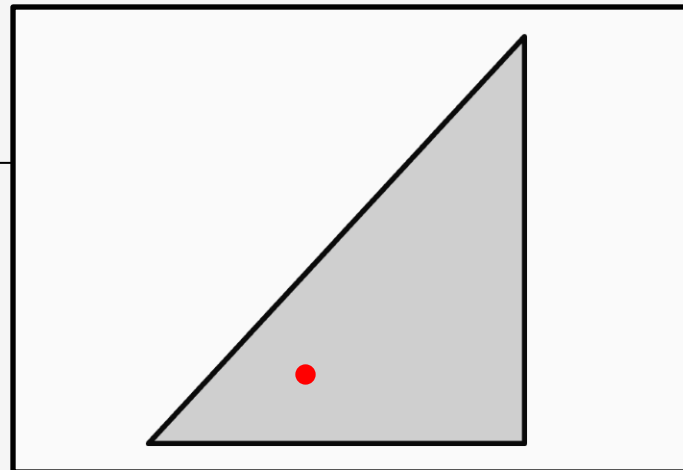
assert(add(1, 2, 3) == 6)
```

平面多角形(2D)のアルゴリズムを提供するライブラリ。
以下は、三角形の内外判定。

```
#include <boost/polygon/polygon.hpp>
namespace polygon = boost::polygon;

int main()
{
    const std::vector<polygon::point_data<int>> ptrs = {
        {0, 0}, {10, 0}, {10, 10}
    };
    const polygon::polygon_data<int> poly(ptrs.begin(), ptrs.end());

    // 点が三角形の内側にあるか
    const polygon::point_data<int> p(3, 3);
    assert(polygon::contains(poly, p));
}
```



インターフェースのマッピング

iterator_traitsの拡張版みたいなもの

```
template <class Assoc>
void foo(Assoc& m)
{
    typedef typename boost::property_traits<Assoc>::value_type type;

    type& value = get(m, "Johnny");
    value = 38;

    m["Akira"] = 24;
}

map<string, int> m;
boost::associative_property_map<map<string, int> > pm(m);

m.insert(make_pair("Millia", 16));
foo(pm);
```


汎用的な、木構造をもつデータのプロパティ管理。
XML、JSON、INIファイルのパースーを提供している。

全てのデータは、

`boost::property_tree::ptree`型

に対して操作を行う。

値の取得には、

失敗時に例外を投げる `ptree::get<T>()` と

`boost::optional` を返す `ptree::get_optional<T>()`

が用意されている。

XMLの読込、要素、属性の取得。

XMLパーサーにはRapidXmlを採用している。

```
using namespace boost::property_tree;
```

```
ptree pt;
```

```
read_xml("test.xml", pt, xml_parser::trim_whitespace);
```

```
// 要素の取得
```

```
const string& elem = pt.get<string>("root.elem");
```

```
// 属性の取得 : <xmlattr>という特殊な要素名を介してアクセスする
```

```
const string& attr = pt.get<string>("root.elem.<xmlattr>.attr");
```

```
<root>  
  <elem attr="World">  
    Hello  
  </elem>  
</root>
```

JSONの読込、データの取得。

```
using namespace boost::property_tree;
```

```
ptree pt;
```

```
read_json("test.json", pt);
```

```
const int    value = pt.get<int>("Data.Value");
```

```
const string& str   = pt.get<string>("Data.Str");
```

```
{  
  "Data": {  
    "Value": 314,  
    "Str": "Hello"  
  }  
}
```

iniの読込、データの取得。

```
[Data]  
Value = 314  
Str = Hello
```

```
using namespace boost::property_tree;  
  
ptree pt;  
read_ini("test.ini", pt);  
  
const int    value = pt.get<int>("Data.Value");  
const string& str  = pt.get<string>("Data.Str");
```

Expression Templateのライブラリを作るためのライブラリ

```
namespace proto = boost::proto;

proto::terminal<std::ostream&>::type cout_ = { std::cout };

template <class Expr>
void evaluate(const Expr& expr)
{
    proto::default_context ctx;
    proto::eval(expr, ctx);
}

evaluate(cout_ << "hello" << ', ' << " world");
```

C++からPython、PythonからC++を使うためのライブラリ

1.C++の関数を用意する

```
const char* greet() { return "hello, world "; }
```

2.C++の関数をPython用にエクスポートする(DLLが作成される)

```
#include <boost/python.hpp>

BOOST_PYTHON_MODULE(hello_ext)
{
    using namespace boost::python;
    def("greet", greet);
}
```

3.PythonでDLLをインポートしてC++関数を呼び出す

```
>>> import hello_ext
>>> print hello.greet()
hello, world
```

疑似乱数生成ライブラリ

疑似乱数生成器と分布の方法を分けて指定できるのが特徴

```
// 疑似乱数生成器：メルセンヌツイスター法
// 分布方法：一様整数分布(1～10)

mt19937          gen(static_cast<unsigned long>(time(0)));
uniform_int<> dst(1, 10);
variate_generator<mt19937&, uniform_int<> > rand(gen, dst);

for (int i = 0; i < 10; ++i)
    cout << rand() << endl;
```

範囲に対する操作のためのユーティリティ

```
template <class R, class T>
typename boost::range_iterator<R>::type find(R& r, T x)
{
    return std::find(boost::begin(r), boost::end(r), x);
}

std::vector<int> v;
int ar[3];

std::vector<int>::iterator it = find(v, 3); // コンテナ
int* p = find(ar, 3); // 配列
```


ユーティリティ程度だったBoost.Rangeに、
RangeアルゴリズムとRangeアダプタを拡張。

```
std::vector<int> v;  
  
// Rangeアルゴリズム : イテレータの組ではなく範囲を渡す  
boost::sort(v);  
boost::for_each(v, f);  
  
// Rangeアダプタ  
using namespace boost::adaptors;  
boost::for_each(v | filtered(p) | transformed(conv), f);
```

Rangeアルゴリズム : STLアルゴリズムのRange版

Rangeアダプタ : 遅延評価され、合成可能な範囲操作

Boost.Foreachと組み合わせて使っても便利。

```
using namespace boost::adaptors;  
std::map<std::string, int> m;
```

```
// mapのキーのみを操作
```

```
BOOST_FOREACH (const std::string& key, m | map_keys) {  
    // something...  
}
```

```
// mapの値のみを操作
```

```
BOOST_FOREACH (const int value, m | map_values) {  
    // なにか . . .  
}
```

RangeライブラリとしてはOvenも強力なのでそちらもチェックしてください！

参照ラッパ

関数テンプレートのパラメータがT x)になってるときにint valueを渡すとTがint&ではなくintに推論されてしまうのでboost::refで明示的に参照にする。boost::bindと組み合わせて使うことが多い。

```
void f(int& x)
{
    x = 3;
}

int x = 1;

boost::bind(f, x)();
cout << x << endl; // 1 : 変わってない

boost::bind(f, boost::ref(x))();
cout << x << endl; // 3 : OK
```

関数を抜けるときに実行されるブロックを定義する

(&variable)で変数を参照でキャプチャ

(variable)で変数をコピーでキャプチャ

```
class window {  
    button back_button_  
    button next_button_  
public:  
    void mouse_up()  
    {  
        BOOST_SCOPE_EXIT (&back_button_) (&next_button_) {  
            back_button_.up();  
            next_button_.up();  
        } BOOST_SCOPE_EXIT_END;  
  
        ...ボタンが押されたときの処理とか...  
  
    } // ここで各ボタンのup() が呼ばれる  
};
```

クラス情報のシリアライズ／デシリアライズ

```
class Person {
    int    age;
    string name;

    friend class boost::serialization::access;
    template <class Archive>
    void serialize(Archive& archive, unsigned int version)
    {
        archive & boost::serialization::make_nvp("Age", age);
        archive & boost::serialization::make_nvp("Name", name);
    }
};

std::ofstream ofs("C:/person.xml");
boost::archive::xml_oarchive oarchive(ofs); // XMLシリアライズ

Person person;
oarchive << boost::serialization::make_nvp("Root", person);
```

シグナル・スロット

```
struct back {  
    void operator() () const { std::cout << "back" << std::endl; }  
};  
  
struct rollback {  
    void operator() () const { std::cout << "rollback" << std::endl; }  
};  
  
boost::signals2::signal<void()> event;  
  
event.connect(back());  
event.connect(rollback());  
  
event(); // back::operator(), rollback::operator() が呼ばれる
```

スマートポインタライブラリ

```
void foo()  
{  
    // スコープ抜けたら解放されるスマートポインタ (コピー不可)  
    boost::scoped_ptr<hoge*> h(new hoge());  
  
    h->bar();  
  
} // ここでdeleteされる
```

構文解析

```
// "(1.0, 2.0)"という文字列をパースしてdoubleの組に入れる  
string input("(1.0, 2.0)");  
  
pair<double, double> p;  
qi::parse(input.begin(), input.end(),  
    ' (' >> qi::double_ >> ", " >> qi::double_ >> ')',  
    p);
```


コンパイル時アサート

Type Traitsと組み合わせてテンプレートの要件にしたり
コンパイル時計算の結果が正しいか検証するのに使う

```
template <class Integral>
bool is_even(Integral value)
{
    // 整数型じゃなかったらコンパイルエラー
    BOOST_STATIC_ASSERT(is_integral<Integral>::value);
    return value % 2 == 0;
}

is_even(3);      // OK
is_even(3.14);   // エラー！
```

文字列のアルゴリズム

```
string str = "hello world ";
```

```
boost::to_upper(str);    // “HELLO WORLD ” : 大文字に変換
```

```
boost::trim_right(str); // “HELLO WORLD” : 右の空白を除去
```

```
// 拡張子の判定
```

```
bool is_executable(const std::string& filename)
```

```
{
```

```
    return boost::iends_with(filename, ".exe");
```

```
}
```

std::swapの強化版

```
struct hoge {  
    void swap(hoge&) {}  
};  
  
// 組み込み配列をswap可能  
int a1[3];  
int a2[3];  
boost::swap(a1, a2);  
  
// 専門特化したswapがあればそっちを使う。この場合はhoge::swap  
hoge h1;  
hoge h2;  
boost::swap(h1, h2);
```

各OSのエラーコードをラップして汎用化

```
namespace sys = boost::system;

try {
    // OS固有のAPIでエラーが発生したら
    WSADATA wsa_data;
    int result = WSStartup(MAKEWORD(2, 0), &wsa_data);

    // error_codeでOS固有のエラー情報を取得してsystem_error例外を投げる
    if (result != 0) {
        throw sys::system_error(
            sys::error_code(result,
                            sys::error_category::get_system_category()),
            "winsock");
    }
}
catch (sys::system_error& e) {
    cout << e.code() << ", " << e.what() << endl;
    throw;
}
```

テストライブラリ

```
using namespace boost::unit_test_framework;

void size_test()
{
    std::vector<int> v;
    const int size = v.size();

    v.push_back(3);
    BOOST_CHECK_EQUAL(v.size(), size + 1);

    v.pop_back();
    BOOST_CHECK_EQUAL(v.size(), size);
}

test_suite* init_unit_test_suite(int argc, char* argv[])
{
    test_suite* test = BOOST_TEST_SUITE("test");
    test->add(BOOST_TEST_CASE(&size_test));
    return test;
}
```

Running 1 test case...

*** No errors detected

スレッド

```
void hello()
{
    cout << "Hello Concurrent World" << endl;
}

int main()
{
    boost::thread t(hello);
    t.join();
}
```

簡単な時間計測

```
boost::timer t;  
  
// 時間のかかる処理...  
  
cout << "処理時間 : " << t.elapsed() << "秒" << endl;
```

処理時間 : 3.109秒

トークン分割

```
void disp(const string& s) { cout << s << endl; }
```

```
string s = "This is a pen";
```

```
boost::tokenizer<> tok(s);
```

```
for_each(tok.begin(), tok.end(), disp);
```

```
This  
is  
a  
pen
```


3値bool

```
using namespace boost::logic;
```

```
tribool a = true;    // 真  
a = false;           // 偽  
a = indeterminate;   // 不定
```

タプル

std::pairは2つの値の組だが、tupleは3つ以上の値も可能

```
using namespace boost::tuples;

tuple<int, string, double> get_info() // 多値を返す関数
{
    return make_tuple(5, "Hello", 3.14);
}

tuple<int, string, double> t = get_info();

int n;
double d;
tie(n, ignore, d) = get_info(); // 一部の値を取り出す(2番目はいらない)
```

型推論

C++0xのautoとdecltypeをエミュレーション

```
int a;  
  
// 式の適用結果の型 : int b = a + 2;  
BOOST_TYPEOF(a + 2) b = a + 2;  
  
// 右辺の式から左辺の型を推論 : int c = b + 2;  
BOOST_AUTO(c, b + 2);
```

C++0xではこうなる

```
int a;  
  
// 式の適用結果の型 : int b = a + 2;  
decltype(a + 2) b = a + 2;  
  
// 右辺の式から左辺の型を推論 : int c = b + 2;  
auto c = b + 2;
```

ベクトルや行列といった線形代数のライブラリ

Expression Templateで組まれているため高速なのが特徴

```
using namespace boost::numeric::ublas;

vector<double> a(3);
a[0] = 0;
a[1] = 0;
a[2] = 0;

vector<double> b(3);
b[0] = 10;
b[1] = 0;
b[2] = 0;

vector<double> v = b - a; // 目的地へのベクトル
v = v / norm_2(v);       // 正規化

std::cout << v << std::endl; // [3] (1, 0, 0)
```

單位計算

```
using namespace boost::units;  
using namespace boost::units::si;  
  
quantity<length> x(1.5 * meter);           // 1.5m  
quantity<length> y(120 * centi * meter); // 120cm  
cout << x * y << endl; // 面積 : 1.8 m^2
```

ハッシュ表の連想コンテナ

```
boost::unordered_map<string, int> m;
```

```
// 辞書作成
```

```
m["Akira"] = 3;
```

```
m["Millia"] = 1;
```

```
m["Johnny"] = 4;
```

```
// 要素の検索 : 見つからなかったらout_of_range例外が投げられる
```

```
int& id = m.at("Akira");
```

```
assert(id == 3);
```

その名の通りユーティリティ

```
class Window : private boost::noncopyable { // コピー禁止のクラスにする
    ...
};

struct functor {
    typedef int result_type;

    int operator() () const {}
};

// 関数(オブジェクト)の戻り値の型を取得
typedef boost::result_of<functor()>::type result_type;
BOOST_STATIC_ASSERT((boost::is_same<result_type, int>::value));
```

ユニークIDの生成。

COMとか、分散環境での情報の識別とかで
使われることが多い。

```
using namespace boost::uuids;

// 擬似乱数生成器でのUUID生成。デフォルトはmt19937
uuid u1 = random_generator()();

// 文字列からUUID生成
uuid u2 = string_generator()("0123456789abcdef0123456789abcdef");

cout << u1 << endl;
cout << u2 << endl;
```

```
31951f08-5512-4942-99ce-ae2f19351b82
01234567-89ab-cdef-0123-456789abcdef
```


指定した型を格納できるUnion

```
class my_visitor : public boost::static_visitor<int>
{
public:
    int operator()(int i) const
    { return i; }

    int operator()(const string& str) const
    { return str.length(); }
};

boost::variant<int, std::string> u("hello world");
cout << u; // "hello world"が出力される

int result = boost::apply_visitor(my_visitor(), u);
cout << result; // 11が出力される("hello world"の文字列長)
```

C99, C++のプリプロセッサ

1. プリプロセッサを用意(wave.exeとする)

```
using namespace boost::wave;

std::ifstream file(argv[1]);
std::string source(std::istreambuf_iterator<char>(file.rdbuf()),
                  std::istreambuf_iterator<char>());

typedef context<std::string::iterator,
               cpplexer::lex_iterator<cpplexer::lex_token<> > > context_type;

context_type ctx(source.begin(), source.end(), argv[1]);

context_type::iterator_type first = ctx.begin();
context_type::iterator_type last  = ctx.end();

while (first != last) {
    std::cout << (*first).get_value();
    ++first;
}
```

2. C++のソースコードを用意する(a.cppとする)

```
#define HELLO "Hello World"
```

```
int main()  
{ std::cout << HELLO << std::endl; }
```

3. a.cppをBoost.Waveでプリプロセス処理する

```
> wave.exe a.cpp
```

```
int main()  
{ std::cout << "Hello World" << std::endl; }
```

正規表現

```
// 文字列中の <ほげほげ> にマッチするものを検索
using namespace boost::xpressive;

std::string str = "The HTML tag <title> means that ...";
sregex rex = sregex::compile( "<[^\>]+>" );

smatch result;
if (regex_search(str, result, rex)) {
    std::cout << "match : " << result.str() << std::endl;
}
```

```
match : <title>
```