

平成20年度

e-サイエンス実現のためのシステム統合・連携ソフトウェアの研究開発

応募内容提案書

【研究代表者情報】

研究者番号		70345122	
所属研究機関		2112601000	東京大学
所属部局		26	大学院情報理工学系研究科
職名		教授	
学位		11	博士
研究代表者 氏名	漢字	石川 裕	
	フリガナ	イシカワ ユタカ	
	英字	Ishikawa Yutaka	
性別		男	
生年月日		1960 年 2 月 25 日	
メールアドレス		ishikawa@is.s.u-tokyo.ac.jp	

【研究共通情報】

研究年度	平成20年度		
配分機関名	文部科学省		
制度名	キーテクノロジー研究開発の推進		
事業名	次世代IT基盤構築のための研究開発		
新規継続区分	新規		
課題ID			
研究開発課題名	シームレス高生産・高性能プログラミング環境		
研究種別	応用研究		
研究期間	平成20年度 ~ 平成23年度		
研究分野	主分野	0205	情報通信(高速コンピューティング)
	副分野1		
	副分野2		
	副分野3		
研究キーワード	1		
	2		
	3		
	4		
	5		

<p>研究目的</p>	<p>PCクラスタから大学情報基盤センターに設置されているスパコンユーザに対するシームレスなプログラミング環境を提供する。研究開発対象は、高性能並列プログラミング言語、高生産並列スクリプト言語、高効率・高可搬性ライブラリの3分野である。</p>
<p>研究概要</p>	<p>PCクラスタから情報基盤センターに設置されているスパコンまでをシームレスに利用できるプログラミング環境を実現する。本環境は、並列プログラミング言語、スクリプト言語、実行時チューニング機能付きライブラリ、PCクラスタからスパコンまでをシームレスに利用するためのライブラリから構成される。研究開発終了時、本環境は、研究室レベルのPCクラスタから情報基盤センターのスパコンで利用される。</p>



【研究組織情報】

	研究者番号	所属研究機関	現在の専門	直接経費 (直接費) 間接経費 (一般管理費) (千円)	イフォート (%)
	氏名(フリガナ)	所属部局名	学位		
	氏名(漢字)	職名	役割分担		
研究代表者	70345122 イシカワ ユタカ	東京大学		0 0	10
		大学院情報理工学系研究科	博士		
	石川 裕	教授			
研究分担者1	60333481 サトウ ミツヒサ	筑波大学		260,000 0	10
		計算科学研究センター			
	佐藤 三久	教授			
研究分担者2	40345434 カタギリ タカヒロ	東京大学		239,460 0	20
		情報基盤センター			
	片桐 孝洋	特任准教授			
研究分担者3	10243057 ナカシマ ヒロシ	京都大学		239,460 0	10
		学術情報メディアセンター			
	中島 浩	教授			

【応募・受入状況】

No	助成の有無	配分機関名		
		事業名		
		研究開発課題名		
		研究期間	予算額(千円)	エフォート(%)
1		(1020)独立行政法人科学技術振興機構 (1020001001010)戦略的創造研究推進事業CREST「実用化を目指した組込みシステム用ディペンダブル・オペレーティングシステム」研究領域 ( )高信頼組込シングルシステムイメージOS		
		2006年度～2010年度	18,000	25
2		(1020)独立行政法人科学技術振興機構 (1020001001012)戦略的創造研究推進事業CRESTタイプ「情報社会を支える新しい高性能情報処理技術」領域 ( )ヒューマノイドのための実時間分散情報処理		
		2003年度～2008年度	14,000	10
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

# 提出書類チェックシート

※提出書類について欠落がないか□欄にチェックの上、本状も提出願います。

本チェックシートは、応募1件につき1枚のシートでチェックして下さい。

研究開発領域名	e-サイエンス実現のためのシステム統合・連携ソフトウェアの研究開発
テーマ名	テーマ①：高生産・高性能計算機環境実現のためのシステムソフトウェアの研究開発
研究開発課題名	シームレス高生産・高性能プログラミング環境

事務書類	
■ 提出書類チェックシート（本用紙）	本用紙

提案書類（日本語で記述）		
	ページ数制限	様式
■ 表紙	1 ページ	様式 1
■ 提案書	1 ページ	様式 2
■ 実施概要	2 ページ	様式 3
■ 研究開発の内容	2 ページ	様式 4
■ 研究開発の独創性、優位性等	2 ページ	様式 5
■ 研究開発の成果の利活用計画等	2 ページ	様式 6
■ 研究開発の実施体制	1 ページ	様式 7
■ 研究開発の年次計画	1 ページ	様式 8
■ 所要経費の見込額	2 ページ	様式 9
■ 事務処理体制	1 ページ	様式 10
■ 人材育成	1 ページ	様式 11
■ 研究者データ	—	様式 12 及び別紙
■ 機関・組織データ	—	様式 13

- 全て A 4 版とし、正確を期すため、ワープロ等判読しやすいもので作成、記述して下さい。
- 表紙には、本事業名（「次世代 I T 基盤構築のための研究開発」）、研究開発課題名、代表機関・組織名、代表者名を記述して下さい。
- 提案書類には通し番号（表紙から 1 / ○とし、以降 2 / ○、3 / ○とする通しページ、○には総ページ数を記入）を下部中央に必ず打って下さい。ただし、チェックシートは除きます。
- 提案書類については、それぞれ左肩をクリップ止め（ホッチキスでは留めないで下さい）にして、2 部（正本 1 部、副本 1 部）提出願います。なお、その際に両面印刷及び両面コピーは認められません。
- ページ数に制限のないものについても、できるだけ簡潔かつ明瞭をお願いします。
- カラーで作成いただいても構いませんが、審査等の際には白黒コピーで対応いたしますので予めご了承ください。

(様式1)

次世代 I T 基盤構築のための研究開発

「e-サイエンス実現のためのシステム統合・連携  
ソフトウェアの研究開発」

シームレス高生産・高性能プログラミング環境

東京大学

情報基盤センター

石川裕

## (様式2)

## 次世代 I T 基盤構築のための研究開発

「e-サイエンス実現のためのシステム統合・連携ソフトウェアの研究開発」

## 提案書

テーマ名	テーマ①：高生産・高性能計算機環境実現のためのシステムソフトウェアの研究開発			
研究開発 課題名	シームレス高生産・高性能プログラミング環境			
研究開発 の概要	本研究開発の成果を適用する対象、研究開発で確立すべき技術内容、研究開発終了時の達成目標等を可能な限り具体的かつ定量的に、簡潔に記述して下さい。(200字以内) PC クラスタから情報基盤センターに設置されているスパコンまでをシームレスに利用できるプログラミング環境を実現する。本環境は、並列プログラミング言語、スクリプト言語、実行時チューニング機能付きライブラリ、PC クラスタからスパコンまでをシームレスに利用するためのライブラリから構成される。研究開発終了時、本環境は、研究室レベルの PC クラスタから情報基盤センターのスパコンで利用される。			
代表機関 ・組織名	東京大学情報基盤センター			
研究代表者	氏名	石川 裕	生年月日	西暦 1960 年 2 月 25 日 (47 歳) ※2008 年 1 月 1 日現在
	所属部署	情報基盤センター	役職	教授
	所在地	〒113-8658 東京都文京区弥生2-11-16		
	Tel 03-5841-4094		FAX 03-3818-1073	
	E-mail <a href="mailto:ishikawa@is.s.u-tokyo.ac.jp">ishikawa@is.s.u-tokyo.ac.jp</a>			
	所属機関・ 組織の 産学官	「学」		
	エフォート	10 %		
事務連絡 担当者 ※	氏名	西澤 明生	役職	主査 (共同利用担当)
	所属部署	東京大学情報基盤センター事務部		
	所在地	上記の所在地と異なる場合は新たにお書き下さい。		
	Tel 03-5841-2717		FAX 03-5841-2708	
	E-mail <a href="mailto:kyoudou@itc.u-tokyo.ac.jp">kyoudou@itc.u-tokyo.ac.jp</a>			
実施予定 期間	平成 20 年 10 月から平成 24 年 3 月まで (業務終了は年度末とする)			
経費見込額 (概算)	初年度 170.3 百万円 総額 738.92 百万円			

※当該担当者に審査結果等全ての連絡をいたします。



## 次世代 I T 基盤構築のための研究開発

「e-サイエンス実現のためのシステム統合・連携ソフトウェアの研究開発」

### 実施概要

#### 1. 研究開発の概要

##### ■ 適用する対象

PC クラスタから大学情報基盤センター等に設置されているスパコンユーザに対するシームレスなプログラミング環境を提供する。研究開発対象は、高性能並列プログラミング言語、高生産並列スクリプト言語、高効率・高可搬性ライブラリの3分野である。

##### ■ 確立すべき技術内容

###### ● 高性能並列プログラミング言語

マルチコアのCPUチップから構成される共有メモリノードが高速ネットワークによって結合された、総CPU数が1万以上の大規模超並列分散メモリ型コンピュータ上で、逐次プログラムからシームレスに並列化および高性能化を支援する並列実行モデルの確立とそれに基づく並列言語コンパイラ設計と実装。

###### ● 高生産並列スクリプト言語

最適パラメータ探索など粗粒度の大規模な階層的並列処理を、簡便な記述によって実現可能とするだけでなく、プログラム言語としての機能性・抽象性・保守性を兼ね備え、かつ処理効率にも優れたスクリプト言語とその処理技術の確立。

###### ● 高効率・高可搬性ライブラリ

アプリケーションの性質に応じて数値計算ライブラリのアルゴリズムが最適に自動選択され計算時間が大幅に短縮されるような機構の確立。PC クラスタ上の実行時環境と基盤センタースパコン(PC と同一CPUアーキテクチャ) の環境があたかも単一実行時環境(Single Runtime Environment)であるようにするためのライブラリ群の確立。

##### ■ 研究開発終了時の達成目標

開発終了時には、開発したソフトウェア一式は、筑波大学、東京大学、京都大学の各センターで公開するとともに、PC クラスタコンソーシアムにおいて開発普及している SCore(エスコア) クラスタシステムソフトウェアの標準配布物に同梱し、PC クラスタユーザへの普及を図る。

#### 2. 研究開発の独創性、優位性

##### ■ 高性能並列プログラミング言語

本提案の独創性は、並列プログラムの開発プロセスを考慮した実用的な並列プログラミング言語の設計・開発を行う点にある。まず、既存言語をコンパイラ指示文により拡張することにより並列化機能を提供する。さらに、簡便明瞭な並列化モデルをユーザに提示し、並列化指示に対する通信・同期などの事象をユーザが把握しやすくすることにより性能チューニングのプロセスを支援する。開発当初から標準化を視野にいれ、言語仕様検討委員会を組織することにより、コミュニティの経験と意向を取り入れた仕様検討を行い、開発後の普及体制までを考慮にいれた優位性を確保する。

##### ■ 高生産並列スクリプト言語

最適パラメータ探索のように多数の並列計算を、その結果に応じて繰り返し実行する制御は、単なるワークフロー記述では実現できないが、それをスクリプト言語という簡便な手段によって実現することが本研究開発の鍵である。この方法の例としては、実施責任者の中島による MegaScript や共同研究を行う富士通研究所による PJO があるが、いずれも外部プログラム制御の抽象性・可搬性、外部プログラムインタフェースの一般性・抽象性、探索ライブラリの提供、スクリプト単体でのデバッグ機能といった重要な性質・機能が欠如しており、これらを備えることがそのまま本研究

### (様式3)

開発の独創性・優位性である。

#### ■ 高効率・高可搬性ライブラリ

自動チューニング付き数値計算ライブラリに関しては、実行時に入力データセットを考慮して、最適なアルゴリズムを選択する機構の開発が独創的である。また、自動チューニング機構を利用可能とするインタフェースを公開することで汎用性を確立するが、このような機構の提供はほとんどなく、従来の数値計算ライブラリに対して優位性がある。Single Runtime Environment に関しては、一つのバイナリで PC クラスタからセンタースパコン上で実行できる環境を実現することに独創性がある。東京大学石川研究室では、長年独自 MPI 通信ライブラリおよびクラスタ上のファイルシステムの開発実績がある。国内で、このような研究開発を行っているところはない。

### 3. 研究開発の成果の利活用計画等

・本研究開発の成果を適用する対象、実用化に向けた計画、普及方策等を簡潔に記述して下さい。

#### ■ 成果を提供する対象

研究室レベルの PC クラスタから大学情報基盤センター等のスパコンが対象となる。

#### ■ 実用化に向けた計画

ソフトウェアはオープンソースとして公開する。筑波大学、東京大学、京都大学の3大学は、各大学が持つスパコン上で開発したソフトウェアを公開し、ユーザ支援を行っていく。また、PC クラスタコンソーシアムとの協力を得て、PC クラスタユーザ向け啓蒙活動と利用支援を行っていく。

### 4. 実施体制

高性能並列プログラミング言語処理系の開発では、富士通、日本電気、日立製作所、九州大学、核融合研、理研、JAXA、JAMSTEC からのメンバーで仕様検討委員会を組織して言語仕様を策定し、筑波大学を中心に言語処理系の可搬性の高い部分を開発し、メーカ固有の部分についてはメーカで検討を行う。高生産並列スクリプト言語の開発では、富士通研究所とともに研究開発を行っていく。高効率・高可搬性ライブラリの開発では、日立中央研究所および富士通研究所と協力して研究開発を行っていく。普及活動は、PC クラスタコンソーシアム（会長は本提案代表者である石川裕）と共に行っていく。

### 5. 平成20年度所要経費

(単位：百万円)

サブテーマ	実施機関・組織	設備備品費	試作品費	人件費	業務実施費	間接経費	合計
(1) 高性能並列プログラミング言語に関する研究	筑波大学・計算科学研究センター	0	0	4	46	15	65
	小 計	0	0	4	46	15	65
(2) 高生産並列スクリプト言語に関する研究	京都大学・学術情報メディアセンター	0	0	4	36.5	12.15	52.65
	小 計	0	0	4	36.5	12.15	52.65
(3) 高生産高可搬性ライブラリに関する研究	東京大学・情報基盤センター	0	0	4.5	36	12.15	52.65
	小 計	0	0	4.5	36	12.15	52.65
合 計		0	0	12.5	118.5	39.3	170.3

### 6. 人材育成

提案3大学の大学院修士課程、博士課程、ポスドク、若手研究者合わせて10名ほどに対して、本テーマに関する基礎研究を行わせると共に、ポスドクおよび若手研究者に対しては、開発に関しても担当させる。国際会議での論文発表、研究展示を通して国際的研究者に育てる。欧米の第一線で活躍している研究者を招聘、あるいは、人材育成対象者を欧米の先端研究を行っている研究機関に短期派遣して、研究交流する。

## 次世代 I T 基盤構築のための研究開発

「e-サイエンス実現のためのシステム統合・連携ソフトウェアの研究開発」

### 研究開発の内容

高性能並列プログラミング言語に関する研究（サブテーマ）で得られた成果、高生産並列スクリプト言語に関する研究（サブテーマ）で得られた成果、および高生産高可搬性ライブラリに関する研究（サブテーマ）で得られた成果は一つに統合され、PC クラスタから情報基盤センターに設置されているスパコンまでをシームレスに利用できるプログラミング環境が実現される。

#### （1）高性能並列プログラミング言語に関する研究 ←（サブテーマ）

実施機関および実施責任者 筑波大学計算科学研究センター 氏名 佐藤三久（49）

- 現状と課題

現在の大規模な並列システムは分散メモリ型のシステムであり、ほとんど MPI によるメッセージ通信のプログラミングが行われており、生産性が低い。PC クラスタから、センター、ペタコンまでに到るスケラブルかつポータブルな並列プログラミング言語が必要である。

- 目標

大規模並列システムでのプログラミングを助け生産性を向上させるために、既存言語を指示文により拡張した並列プログラミング言語を開発し、標準化を目指す。

- 研究項目と手法

ユーズケースを調査し、言語仕様の設計・決定を行い、HPC ベンダのコンパイラに接続するための中間コードの仕様を検討する。ベース言語である F90 と C 言語についてのフロントエンドの開発を行う。国際展開・標準化のためのコミュニティを作る。

- 期待される具体的成果

簡便な並列プログラミングが可能となり、並列プログラムの生産性を著しく向上させることができる。普及・標準化を行うことにより、並列プログラミングの手段として教育に用いることができるようになり、並列プログラミングの人材育成にも寄与できる。

#### （2）高生産並列スクリプト言語に関する研究 ←（サブテーマ）

実施機関および実施責任者 京都大学学術情報メディアセンター 氏名 中島浩（51）

（研究内容記述）

- 現状と課題

最適パラメータ探索のように多数の並列プログラムをさらに並列実行する、本来は簡明であるべき並列計算手法での一連の作業、すなわち 1) 並列実行するパラメータセットの生成、2) 各パラメータを入力とするプログラムの並列実行、3) 結果の集約・解析、の繰り返しが著しく非生産的であり、このような処理を記述する簡便な処理系が存在しない。

- 目標

最適パラメータ探索など粗粒度の大規模な階層的並列処理を、簡便かつ柔軟に記述可能で処理効率に優れたスクリプト言語とその処理系を開発する。特に外部プログラムの制御やインタフェースの抽象化、探索アルゴリズムのライブラリ化、スクリプト単体のデバッグ機能を、重点的な開発項目とする。

- 研究項目と手法

ベースとなる既存スクリプト言語を選定し、バッチジョブ投入を対象として外部プログラム制御を抽象化・可搬化したプロトタイプ版を実装する。このプロトタイプ実装の評価と、他の重点機能の導入による言語仕様の改定に基づき、最終的な実装を行う。

- 期待される具体的成果

本スクリプト言語により、複雑な探索パラメータセットの生成や実行結果の解析に基づく探索

#### (様式4)

アルゴリズムが容易にプログラムでき、またライブラリ化も可能となるため、最適パラメータ探索などの生産性が著しく向上する。

#### (3) 高生産高可搬性ライブラリに関する研究 ← (サブテーマ)

所属機関 東京大学情報基盤センター 氏名 片桐孝洋 (34)

##### ① 自動チューニング機構の開発← (研究の項目)

実施機関および実施責任者 東京大学情報基盤センター 氏名 片桐孝洋 (34)

##### ● 現状と課題

PC クラスタから計算センターに設置されているスパコンなど、様々なアーキテクチャがある。パワーユーザは自ら数値計算コードを開発するが、機種毎に性能チューニングすることになり、コストが増大している。また、実行時に与えられるデータセットの内容により、最適な数値計算アルゴリズムや実装方式が異なるため、チューニングコストが増加している。

##### ● 目標

自動チューニング機構を含む数値計算ライブラリを開発し、数値計算コード部分のチューニングに関わる開発時間をなくす。

##### ● 手法

実施責任者の片桐の既存研究成果である自動チューニング機能付き数値計算ライブラリを大規模計算シミュレーションプログラムに適用・評価し、自動チューニング機能付き数値計算ライブラリおよび自動チューニング機構を設計する。プロトタイプ実装を行い評価・高度化していく。対象プログラムは、固有値解析、反復解法の数値計算ライブラリとする。

##### ● 期待される具体的成果

開発する数値計算ライブラリを用いることで、PC クラスタからセンターマシンに至る広範な計算機環境においても、コード修正なしで高い性能を達成できる。実行時に与えられるデータの変化に追従する自動チューニング機能を追加することで、従来の数値計算ライブラリでは達成できなかった高速化が実現できる。

##### ② 単一実行時環境の開発← (研究の項目)

実施機関および実施責任者 東京大学情報基盤センター 氏名 石川裕 (48)

##### ● 現状と課題

PC クラスタと計算センターが提供するスパコンでは、ファイルの見え方や通信ライブラリの違い等の理由により、PC クラスタで動作するプログラムを計算センターマシンで動かしても動作しないことがある。ユーザは、それぞれの環境用にプログラムを変更する必要がある。

##### ● 目標

PC クラスタでも基盤センタースパコン(1 万規模 CPU)でも単一実行時環境を提供する Single Runtime Environment Image 環境を提供する。

##### ● 手法

PC クラスタと基盤センタースパコンの実行環境の違いを吸収するプロトタイプシステムを実装する。本プロトタイプシステム評価後に、仕様を改定し、最終システムを実装する。本システムでは、インストール等で、ルート権限を必要とする処理をなくし、センターユーザが自由に使える環境を提供する。

##### ● 期待される具体的成果

PC クラスタでもセンターマシンでも同一の実行時環境を提供するライブラリが実現される。PC クラスタ上で開発されたアプリケーションの実行イメージが、PC クラスタだけでなく、PC と同一CPUアーキテクチャを持つセンターマシンでも実行できるシングルバイナリを生成できる環境が実現される。

## 次世代 I T 基盤構築のための研究開発

「e-サイエンス実現のためのシステム統合・連携ソフトウェアの研究開発」

### 研究開発の独創性、優位性等

#### 1. 研究開発の独創性、優位性

##### 高性能並列プログラミング言語

本提案では、既存言語をコンパイラ指示文により拡張することにより並列化機能を提供する。これにより新規の言語として提供するよりも習得のコストを低減し、生産性と実用性を向上させることができる。設計段階である程度の逐次プログラムとの連続性を確保できるように配慮することにより、OpenMP のように既存プログラムからの incremental な並列化が可能になる。

本言語では、ユーザが記述した指示行は言語のベースとなる並列実行モデルで明確に定義される。なお、CAF や UPC といったいわゆる PGAS(Partial Global Address Space)モデルも同様のアプローチであり、これらモデルを含めた並列実行モデルを研究開発する。

なお、すでに実施責任者の佐藤のグループではこのコンセプトに基づく並列言語 OpenMPD を提案・試作実装しており、この言語では簡便な指示行で典型的なデータ並列の通信をサポートしている。提案の並列プログラミング言語の設計・開発に当たってはこの経験を生かして、開発を進めていく。標準化を視野にいれ、言語仕様検討委員会を組織することにより、コミュニティの経験と意向を取り入れた仕様検討を行い、開発後の普及体制までを考慮に入れて、優位性を確保する。

##### 高生産並列スクリプト言語

多数の並列計算を同時・並行的な実行制御にスクリプト言語を用いる研究開発自体に例が少なく、わが国の学術的研究としては実施責任者の中島による MegaScript が、また産業界による研究開発としては共同研究を行う富士通研究所による PJO が希少な例である。しかも本研究開発では、MegaScript や PJO に欠如している重要な性質・機能に焦点を合わせており、この実現が独創性・優位性のポイントとなっている。すなわち、バッチジョブ実行などの外部プログラム制御を抽象化することによる可搬性の確保、外部プログラムインタフェースを抽象化することによるスクリプトプログラムの記述性・可読性の向上、高度な探索メカニズムの容易な実装をサポートする機能性とそのライブラリ化、スクリプト単体でのデバッグ機能の実現による高度な保守性など、本プロジェクトの各研究開発項目を着実に実施することにより、独創性・優位性に富んだ成果を提供することができる。

##### 高生産高可搬性ライブラリ

東大の片桐特任准教授は汎用的な自動チューニング処理を記述する言語、および固有値解析を中心とした数値計算ライブラリに向く自動チューニング機能を開発してきており、本研究開発の準備が整っている。実行時に最適化をするという意味での自動チューニング機能を、数値計算ライブラリの自動チューニング機能として研究しているのは、国内においては片桐特任准教授の研究グループのみである。

Single Runtime Environment に関しては、PC クラスタとセンタースパコンの実行時環境の違いとして MPI 通信ライブラリおよびファイルシステムを主に焦点をあて、同一ビューを与えるとともに、アーキテクチャが同じ環境では、一つのバイナリで PC クラスタからセンタースパコン上までを実行できる環境を実現することに独創性がある。東京大学石川研究室では、長年独自の MPI 通信ライブラリ実装およびクラスタ上のファイルシステム開発実績がある。国内で、このような研究開発を行っているところはない。

## (様式5)

### 2. 国内外の研究開発の現状等

#### 高性能並列プログラミング言語

OpenMP は、スパコンの中でも共有メモリ型の並列コンピュータでのみ使える処理系で、あくまでもノード内の並列化にしか使えない。OpenMP は米国企業が中心になって規格化を進めているため、新しい機能を取り入れることに関して消極的である。HPF 処理系は、分散メモリ型並列コンピュータがターゲットであったが、一部でしか使われず、コミュニティは休止状態にある。なお、本提案の並列プログラミング言語は国内で行われてきた HPF の活動の経験と反省を取り入れている。米国の HPSC プロジェクトで、並列プログラミング言語として X10, Chapel, fortress 等が提案されているが、研究レベルに留まっている。これらの言語は Java または新規の言語をベースとしており、従来のスパコンユーザにとって、既存のプログラム言語から新規の言語に移行するのは大きなコストを払わなくてはならないため、実用という点で大きな問題がある。現在注目されている並列プログラミング言語としては、いわゆる PGAS モデルに基づく CAF、UPC がある。これらの言語は既存言語をベースにする点、並列化モデルや操作が明示的な点は本提案の並列プログラミング言語の設計方針にある程度沿うものであり、これら言語仕様については同等な機能を取り込むことを検討する。しかし、集団通信など不十分なところがあり、そのための拡張などを追加し、新しい並列言語として標準化活動を展開する。

#### 高生産並列スクリプト言語

Condor は、繰り返しのないワークフロー記述に限定されており、プログラム言語としての機能が欠如している。NAREGI ワークフローも、繰り返しのないワークフロー記述に限定されているが、GUI による簡易記述は本プロジェクトと相補的なものとして互いに活用可能である。既存スクリプト言語である Perl, Python, Ruby などは、メッセージ通信ライブラリなどにより言語の外側で並列実行ができるにすぎない。MegaScript は並列実行セマンティクスを有しているが、クラスタ上の MPI 実行基盤を前提とし、また外部プログラムインタフェースは標準入出力に限定されている。PJO は多数のバッチジョブの生成に適しているが、基盤となるジョブスケジューラが NQS に限定され、また外部プログラムインタフェースはファイルを陽に用いる方法に限定されている。

#### 高生産高可搬性ライブラリ

数値計算ライブラリにおける自動チューニングの方式研究は、1997 年から米国が先導して研究開発をしてきた(PHiPAC, ATLAS, FFTW, OSKI など)。しかし、自動チューニング対象が BLAS や FFT に限定されており汎用性がない。PHiPAC, ATLAS, FFTW に関しては、実行時に定まる入力セットの特性を考慮した自動チューニング機能が提供されていない。OSKI に関しては、ユーザが行列の形状を固有のインターフェースで事前に与えることでアルゴリズム選択を行えるが、これは実行時に行う最適化ではない。我が国においては、片桐特任准教授を中心に自動チューニングの研究開発が進められてきた。特に、実行時に入力データセットを考慮してアルゴリズムを選択するという機能においては、欧米に先駆けて開発を進めてきた。

Single Runtime Environment に関しては、同様のシステムは国内外に存在しない。PC クラスタおよび計算センターで同一ポリシーに基づくファイルシステムを運用すれば、プログラムから見えるファイルシステムイメージを統一することが可能である。しかし、各センターの運用ポリシーに依存するため現実的ではない。ルート権限を持たないユーザ権限で同一ファイルシステムビューを提供するポータブルクラスタファイルシステムの研究は存在しない。MPI 通信ライブラリ実装の一つである OpenMPI では、コンポーネントアーキテクチャを採用しており、実行時にネットワークデバイスを選択することができる。しかし計算センターの全てで OpenMPI が使われているわけではない。

## 次世代 I T 基盤構築のための研究開発

「e-サイエンス実現のためのシステム統合・連携ソフトウェアの研究開発」

### 研究開発の成果の利活用計画等

#### 1. 研究開発の成果の利活用計画

##### 成果適用対象

研究室レベルで使用されている PC クラスタから大学情報基盤センターで運用されているスパコンで使われるソフトウェアである。

##### 実用化に向けた計画、普及方策、知的財産権の活用方法

提案機関の東大、筑波大、京大の各情報基盤センターのユーザに利用してもらう。PC クラスタユーザに普及するために、開発したソフトウェアはオープンソースとして公開し、PC クラスタコンソーシアムと連携する。PC クラスタコンソーシアムメンバ企業が、開発したソフトウェアを基礎として先端的 PC クラスタシステムを製品化することを期待する。

##### アウトリーチ活動

PC クラスタコンソーシアムと連携してアカデミックユーザおよび一般企業に向けた発信を行っていく。また、WEB 上での情報発信や、大学の一般公開時に本研究開発活動の紹介を行っていく。

#### 2. 社会的効果

##### 社会的効果

本事業で開発されたシステムソフトウェアは、PC クラスタからスパコンまでを橋渡しするものである。PC クラスタ上で開発されたアプリケーションが大学に設置されたスパコン等にスムーズに移行できることにより、PC クラスタユーザが大規模並列処理を行うようになり、次世代スパコンユーザ予備軍が増大するだろう。また、7 大学情報基盤センターで進めているスパコン民間利用の取り組みと連携し、産業界での利用促進を進めることにより、イノベーション創出に貢献する。並列プログラミング言語に関しては、高性能化する組み込み向けのシステムへの技術転用の可能性もある。

##### 経済波及効果

スパコンユーザの増大は、並列処理市場の拡大につながり、ハード・ソフトの両面で産業界の活性につながる。シミュレーションの速度が向上すること、および、その種類・応用範囲が広がることで、ものづくり・開発費用が削減される。多くの高品質なアプリケーションが短期間で開発され、結果として、アプリケーション開発コストの低減につながる。一つのアプリケーションを、4 つの異なる種類のスパコンで動かすための工数を考えると、コストは 1/4 になる。

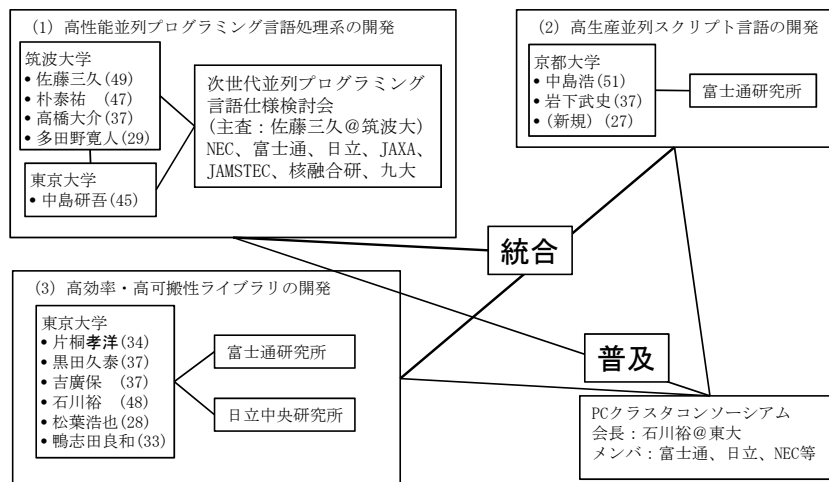
本事業で開発されたシステムソフトウェアを大学、民間で利用されることにより、科学・工学系の研究者や技術者のスパコン利用が加速する。2006 年の国内スパコン市場は 430 億円であり、2005 年に比べて 20.3%減少しているという報告があるが、利用者の増大により、市場拡大が望める。

プログラミング言語・ライブラリ・ツール・実行環境は、その仕様の国際標準化を進めていくことにより、今までスパコンを利用してこなかったユーザ層（例えば生産管理システム）が増大し並列処理市場が活性する。これにより、国内産業が活性化する。

## 次世代 IT 基盤構築のための研究開発

「e-サイエンス実現のためのシステム統合・連携ソフトウェアの研究開発」

### 研究開発の実施体制



#### 高性能並列プログラミング言語処理系の開発

本提案の並列プログラミング言語の開発において、もっとも重視している目標が実用化という点である。そのために開発体制の構築に際しては、開発当初から標準化を視野にいれ、言語仕様検討委員会を組織することにより、コミュニティの経験と意向を取り入れた仕様検討を行い、開発後の普及体制までを考慮にいれて進める。言語の仕様策定は、富士通、日本電気、日立製作所、九州大学、核融合研、理研、JAXA、JAMSTEC からのメンバーで仕様検討委員会を組織して行い、筑波大学を中心に言語処理系の可搬性の高い部分を開発し、メーカー固有の部分についてはメーカーで検討を行う。この組織は、主要メーカー、並列言語の研究者、アプリケーションユーザー、システム管理者から構成した。なお、すでに準備として、同じメンバーによる「次世代並列プログラミング言語仕様検討会」を理研次世代スーパーコンピュータ開発本部の支援を得て、設置して活動を開始している。開発した言語処理系ソフトウェアおよび言語仕様については、この仕様検討委員会を中心にコミュニティを組織し、普及活動を行うほか、標準化活動もこの委員会を中心に行う。

#### 高生産並列スクリプト言語の開発

パラメータサーベイのためのスクリプト言語である PJO の製品開発実績を有する富士通研究所と、ストリームで結合された並列タスクの記述言語である MegaScript の研究開発実績を有する京都大学との間で、共同研究契約を締結して両者の知見・技術を最大限に活用できる研究開発体制を構築する。

#### 高効率・高可搬性ライブラリの開発

日立中央研究所と自動チューニング機能付き数値計算ライブラリの研究開発を行っていく。Single Runtime Environment の開発では、富士通研究所、日立中央研究所と協力して研究開発を行っていく。また、開発したライブラリ群を SCore に統合する作業は、3 機関共同で行う。

#### 普及の取り組み

本提案代表者である石川裕は、PC クラスタコンソーシアム（会長は本提案代表者である石川裕）の開発部会の委員長であり、また、富士通研究所も日立製作所も開発部会のメンバーである。普及活動は、PC クラスタコンソーシアムと共に行っていく。



(様式8)

次世代 I T 基盤構築のための研究開発

「e-サイエンス実現のためのシステム統合・連携ソフトウェアの研究開発」

研究開発の年次計画

- ・以下のフォーマットに整理して、サブテーマ毎に、毎年度の達成目標を研究開発の手法も含めて具体的かつ可能な限り定量的に記述して下さい。

サブテーマ	20年度	21年度	22年度	23年度
(1) 高性能並列プログラミング言語に関する研究	言語仕様の設計、中間コードの仕様検討	フロントエンドおよびバックエンドプロトタイプの実装	評価&言語仕様改定	追加機能実装&総合評価
(2) 高生産並列スクリプト言語に関する研究	ベース言語の選定、言語設計	プロトタイプ実装	評価&言語仕様改定	システム開発&総合評価
(3) 高生産高可搬性ライブラリに関する研究	仕様設計	プロトタイプ実装	評価・高度化	総合評価

## (様式9)

## 次世代 I T 基盤構築のための研究開発

「e-サイエンス実現のためのシステム統合・連携ソフトウェアの研究開発」

## 所要経費の見込額

(単位：百万円)

サブテーマ	20年度	21年度	22年度	23年度	合計
(1)高性能並列プログラミングに関する研究 筑波大学	65	65	65	65	260
設備備品費	0	0	0	0	
試作品費	0	0	0	0	
人件費	4	10	10	10	
業務実施費					
消耗品費	0	0	0	0	
電子計算機諸費	35	30	30	30	
電子計算機使用料	5	6	6	6	
その他	6	4	4	4	
間接経費	15	15	15	15	
(2)高生産並列スクリプト言語に関する研究 京都大学	52.65	62.27	62.27	62.27	239.46
設備備品費	0	0	0	0	
試作品費	0	0	0	0	
人件費	4	8	8	8	
業務実施費					
消耗品費	0	0	0	0	
電子計算機諸費	28	28	28	28	
電子計算機使用料	5	10	10	10	
その他	3.5	1.9	1.9	1.9	
間接経費	12.15	14.37	14.37	14.37	
(3) 高生産高可搬性ライブラリに関する研究 東京大学	52.65	62.27	62.27	62.27	239.46
設備備品費	0	0	0	0	
試作品費	0	0	0	0	
人件費	4.5	8.4	8.4	8.4	
業務実施費					
消耗品費	0	0	0	0	
電子計算機諸費	30	30	30	30	
電子計算機使用料	3.75	7.5	7.5	7.5	
その他	2.25	2	2	2	
間接経費	12.15	14.37	14.37	14.37	
合 計	170.3	189.54	189.54	189.54	738.92

(様式10)

**次世代 I T 基盤構築のための研究開発**  
「e-サイエンス実現のためのシステム統合・連携ソフトウェアの研究開発」  
**事務処理体制**

- ・以下のフォーマットに整理して、経理処理執行責任者、契約事務担当者等、業務内容の分担と担当者（所属機関、氏名、役職等）を具体的に記述して下さい。

以下は、各大学の担当者を示したものである。

氏名	所属・役職名	業務内容	電話番号	e-メールアドレス
<small>にしざわ あきお</small> 西澤 明生	東京大学情報基盤 センター	契約事務担当	03-5841-2717	kyoudou@itc.u-tokyo.ac.jp
<small>くらもちまさえ</small> 倉持 政枝	筑波大学計算科学 研究センター	契約事務担当	029-853-6487	mskuramochi@sec.tsukuba.ac.jp
<small>やまぐち さとる</small> 山口 悟	京都大学情報環境 部情報企画課	経理担当	075-753-7403	yamaguchi@media.kyoto-u.ac.jp

## 次世代 I T 基盤構築のための研究開発

「e-サイエンス実現のためのシステム統合・連携ソフトウェアの研究開発」

### 人材育成

#### 1. 人材育成の対象者、育成方法等

大学院修士課程ならびに博士課程の学生に対しては、本研究テーマの基礎研究を行わせる。本研究テーマの基礎部分ならびに将来の拡張研究につながる研究が主体となる。

また、東京大学情報基盤センターでは、助教1名、特任助教2名、新規ポスドク1名を雇用し、本プロジェクトに参画し、自動チューニング、通信ライブラリ、シームレスファイルシステムの研究開発を行う。

筑波大学では、本プロジェクトによる特定教員1名とRAの雇用を行う。このメンバーにより、並列プログラミング言語の開発の基本設計および開発進捗管理を行う。

京都大学学術情報メディアセンターでは、本プロジェクトによる特定教員（助教）2名と、学内定員・予算による助教1名と新規ポスドク2名の雇用を行う。これらの人材は本プロジェクトに参画し、高生産スクリプト言語の設計・実装・評価を担当し、研究開発を通じて並列計算・言語に関する研究・技術スキルの向上を図る。

国際学会での論文発表や、研究展示を通して、国際的研究者に育てる。通信ライブラリに関しては、最近規格化が始まった MPI-3 規格化会合に参加させ、規格化の貢献を通して、先端研究者との交流を図る。また、成果普及を目的に、欧米の先端研究者を短期招聘あるいは、若手研究者を欧米の研究機関に短期派遣する。並列プログラミング言語の標準化活動は若手の研究者を積極的に参加させ、先端研究社との交流を図る。

#### 2. 期待できる効果等

- ・本研究開発に従事した人材が我が国の研究開発、国際競争力の強化等に及ぼすことが期待される効果等について具体的に記述して下さい。

本プロジェクトの特徴は、3大学の情報基盤センターに属する教員が、ユーザとの接点を持ちながら、開発を行っていき、さらに、開発したソフトウェアは、PCクラスタを有する研究室レベルのユーザにも利用してもらうべくPCクラスタコンソーシアムと連携するところにある。従来の高性能計算分野のミドルウェアやシステムソフトウェアの研究開発プロジェクトでは、現場を持たない研究者・教員により行われることが多かった。このため、開発されたソフトウェアはユーザや基盤センターのニーズを必ずしも反映されていない場合が多かった。本プロジェクトでは、若手研究者が現場のニーズを把握しながら研究開発していくところに特徴がある。現在プロジェクトが進んでいる次世代スーパーコンピュータでは短期間に限られた予算で大規模システムを開発しなければならないため、人材育成を視野に入れた研究開発体制になっていないと思われる。我々が提案するプロジェクトにより、現場と密接した研究開発および国際貢献を経験した若手研究者が、次次世代スーパーコンピュータの研究開発を支える人材として育つであろう。

## (様式12)

## 研究者データ

※研究代表者及び参画する全てのサブテーマ責任者について作成。

ふりがな 氏名	いしかわゆたか 石川 裕		生年月日	西暦 1960年 2月 25日 ( 47) *2008年1月1日現在の年齢	
所属機関 ・組織	ふりがな 所在地	〒113-8658 東京都文京区弥生 2-11-16 Tel. Fax. E-mail:ishikawa@is.s.u-tokyo.ac.jp			
	機 関 名 所属部署	情報基盤センタースーパーコン ピューティング部門	役 職 名	教授	
研究歴	最終学歴	昭和 57 年 慶応義塾大学大学院工学研究科卒業			
	学位	昭和 57 年 博士号 (工学) 取得 (慶応義塾大学)			
	主な職歴 と 研究内容	昭和 57 年～平成 13 年 通商産業省電子技術総合研究所 (現、独立行政法人産 業技術総合研究所) 並列分散システムソフトウェアについて研究 この間、昭和 58 年～昭和 59 年 米国カーネギーメロン大学 客員研究員 実時間分散オペレーティングシステムに関する研究に従事 平成 5 年～平成 13 年 技術研究組合新情報処理開発機構出向 並列分散シス テム研究室室長 クラスタシステムソフトウェアについて研究 平成 14 年～ 東京大学大学院情報理工学系研究科コンピュータ科学専攻 平成 18 年～ 東京大学情報基盤センター併任			
1 年間の全研究時間数		平均 毎月 160 時間×12 ヶ月			
他制度で の助成等 の有無 (申請中 も含む)  各制度の 事業等に 割り当てる 研究時間 割合(%) (年間全仕事時間 を100%とした 際の当該研究に割 く時間配分率)	本事業	「次世代 IT 基盤構築のための研究開発」に係る 研究開発 H20 年度～H23 年度、119.73 百万円			10%
	各省の 競争的資金	科学研究費補助金新学術領域研究 (研究領域提案型)、H20 年度～H24 年度、51,000 千円 (総申請額)、「超大規模大 容量シミュレーションを支援するプログラミング環境」 (共同代表者、申請中)、グリッド向け通信ライブラリに 関する研究のため、本事業との関連性はない。			10%
		「先端研究施設共用イノベーション創出事業【産業戦略利 用】」に係る支援、H19 年度～H23 年度 この事業は研究開発事業でないため、関連性はない。			10%
		科学研究費補助金基盤研究 (B)、「次世代 PC クラスタを活用 する超大規模仮想メモリ空間支援システムの研究」H18 年度 ～H20 年度、14.7 百万円、PC クラスタのためのシステムソ フトウェアの基礎研究であり、本事業との関連性はない。			20%
	独立行政法人等 による競争的 資金	JST CREST、H15 年度から H20 年度、800 万円/年、「ヒューマ ノイドのための実時間分散情報処理」(共同研究者) 実時間分散システムソフトウェアを開発することにあるた め本事業との関連性はない。			10%
		JST CREST、H18 年度～H22 年度、1,800 万円/年、「高信頼組 込みシングルシステムイメージ OS」 組込みシステムソフトウェアを開発することにあるため本 事業との関連性はない。			25%
経常的研究 等	グリッド、クラスタのためのシステムソフトウェア研究。 大学学部および大学院授業			15%	
研究成果等に関する情報		必要に応じ、別紙に記述のこと			

## (様式12)

## 研究成果等に関する情報

## 1. 論文・著作等

## ①論文 (論文名、著者名、出版誌名、巻 (号)、最初の頁、発表年 (西暦))

- "The design and implementation of MPI collective operations for clusters in long-and-fast networks," Motohiko Matsuda, Tomohiro Kudoh, Yuetsu Kodama, Ryousei Takano and Yutaka Ishikawa, Cluster Computing, vol. 11, no. 1, Springer Netherlands, pp. 45 - 55, 2007
- 「配列転置データ転送を高速化する 10Gb Ethernet インタフェースカードの設計」、中島、佐藤、後藤、住元、久門、石川、情報処理学会 ACS 論文誌、Vol. 47, No. SIG12 (ACS15), pp. 74 - 85, 2006.
- 「ギャップパケットを用いたソフトウェアによる精密ペーシング方式」、高野、工藤、児玉、松田、石川、岡崎、情報処理学会、情報処理学会 ACS 論文誌、Vol. 47, No. SIG 7 (ACS 14), pp. 194 - 206, 2006.
- 「MPI ライブラリと協調する TCP 通信の実現」、松田、高野、石川、工藤、児玉、岡崎、手塚、情報処理学会、情報処理学会 ACS 論文誌、Vol. 46, No. SIG12 (ACS11), pp. 362 - 372, 2005.
- 「動的アクセスパターン解析によるソフトウェア分散共有メモリ」、松葉、石川、情報処理学会論文誌、(ACS 7), pp. 1 - 13, 2004
- 「MPI 通信モデルに適した非同期通信機構の設計と実装」、松田、石川、工藤、手塚、情報処理学会論文誌、(ACS 7), 2004
- 「高速通信機構 PM2 の設計と評価」、住元、堀、手塚、原田、高橋、石川、情報処理学会論文誌、Vol. 41, No. SIG 5(HPS 1), pp. 80-90, 2000.
- 「GigaE PM: Gigabit Ethernet を用いた高速通信機構の設計と評価」、住元、堀、手塚、原田、高橋、石川、情報処理学会論文誌、Vol. 41, No. 5, pp. 1390-1399, 2000.
- 「既存OSの枠組を用いたクラスタシステム向け高速通信機構の提案」、住元、堀、手塚、原田、高橋、石川、情報処理学会論文誌、Vol.41, No. 6, pp. 1688-1697, 2000.
- 「ソフトウェア分散共有メモリシステムにおけるページ転送方式の比較」、原田、手塚、堀、住元、高橋、石川、情報処理学会論文誌、Vol. 41, No. 5, pp.1410-1419, 2000.

## ②著書

「Linux で並列処理をしよう — SCore で作るスーパーコンピュータ —」  
石川、堀、原田、佐藤、住元、高橋、共立出版、2002 年

## ③学協会誌等

- "Single IP Address Cluster for Internet Servers," Hiroya Matsuba, Yutaka Ishikawa, IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS 2007), 2007.
- "Efficient MPI Collective Operations for Clusters in Long-and-Fast Networks," Motohiko Matsuda, Yutaka Ishikawa, Tomohiro Kudoh, Yuetsu Kodama, Ryousei Takano, IEEE International Conference on Cluster Computing, 2006.
- "TCP Adaptation for MPI on Long-and-Fat Networks," Motohiko Matsuda, Tomohiro Kudoh, Yuetsu Kodama, Ryousei Takano, and Yutaka Ishikawa, IEEE, Proceedings of Cluster 2005, CD-ROM, 2005.
- "The Design and Implementation of an Asynchronous Communication Mechanism for the MPI Communication Model," Motohiko Matsuda, Tomohiro Kudoh, Hiroshi Tazuka, and Yutaka Ishikawa, IEEE Cluster 2004, 2004
- "OpenMP on Distributed Memory Computers with FDSM Distributed Shared Memory System," Hiroya Matsuba, Yutaka Ishikawa, Sixth European Workshop on OpenMP (EWOMP'04), pp. 49 -- 54 Stockholm, Sweden, October 2004

## (様式12)

### 2. 特許等 (申請中のものについては内数として括弧内に記述)

国内特許	0 件 ( 0 件)	国外特許	0 件 ( 0 件)
------	------------	------	------------

### 3. 受賞暦、表彰暦

- Motohiko Matsuda, Yutaka Ishikawa, Tomohiro Kudoh, Yuetsu Kodama, Ryousei Takano, 「IEEE Cluster2006 Best Paper 賞」、2006 年 9 月
- 高野、工藤、児玉、松田、手塚、石川、「インターネットコンファレンス 2004 論文賞」、2004 年 10 月
- Jorg Nolte, Mitsuhsa Sato, Yutaka Ishikawa, 「IEEE CCGrid2001(First International Symposium on Cluster Computing and the Grid)最優秀論文賞」、2001 年 5 月
- 佐藤、原田、長谷川、石川、「情報処理学会 並列処理シンポジウム JSPP'01 最優秀論文賞」、2001 年 6 月
- 住元、堀、手塚、原田、高橋、石川、「情報処理学会 平成 12 年度最優秀論文賞」、2001 年 5 月
- 堀、手塚、石川、「情報処理学会 並列処理シンポジウム JSPP'98 最優秀論文賞」、1998 年 6 月
- 石川、「情報処理学会 山下記念研究賞」、1996 年
- 石川、「日本ソフトウェア科学会 高橋奨励賞」、1990 年 5 月

### 4. 研究実績等

1992 年から 2001 年まで、経済産業省（当時通産省）のリアルワールドコンピューティングプロジェクトに参画し、クラスタシステムソフトウェアである SCore クラスタシステムソフトウェアの研究開発を主導した。2001 年には、国内主要コンピュータベンダーを中心に PC クラスタコンソーシアムを立ち上げ、会長に就任し、現在にいたるまでクラスタシステムソフトウェアの開発普及を主導してきている。2004 年に理化学研究所に設置された大規模クラスタ理研 Super Combined Cluster で SCore がセンタ業務として利用されている。本システムは 2048 個の CPU から構成される PC クラスタである。理研 Super Combined Cluster は、2004 年 6 月の TOP500 リストで世界 7 位(8.72TFlops)の性能を達成した。また、2006 年から稼働している筑波大学の PACS-CS(2560 ノード)でも SCore が使用されている。PACS-CS は、2006 年 6 月の TOP500 リストで世界 34 位(10.35 TFlops)の性能を達成した。このような高性能が達成できたのは、SCore の持つ高性能通信機構なしにはあり得ない。SCore はヨーロッパにおいても利用されており、最近では、英国におけるベンチャー企業が SCore をインテグレーションした PC クラスタを商用化している。

## (様式12)

## 研究者データ

※研究代表者及び参画する全てのサブテーマ責任者について作成。

ふりがな 氏名	さとう みつひさ 佐藤 三久		生年月日	西暦 1959年 1月 19日 (49歳) *2007年1月1日現在の年齢	
所属機関 ・組織	ふりがな 所在地	05-8577 つくば市天王台1-1-1 Tel. 0298-53-6495 Fax. 0298-53-6506 E-mail: msato@is.tsukuba.ac.jp			
	機 関 名 所属部署	筑波大学・計算科学研究センター	役 職 名	教授、センター長	
研究歴	最終学歴	昭和61年 東京大学大学院理学系研究科情報科学専攻博士課程退学			
	学位	平成3年 理学博士号 取得 (東京大学)			
	主な職歴 と 研究内容	昭和61年 新技術事業団 後藤磁束量子情報プロジェクト研究員 平成3年 通商産業省工業技術院電子技術総合研究所入所 高並列データフローコンピュータEM-Xの研究開発、並列システム性能評価 平成8年 研究技術組合新情報処理開発機構並列分散システムパフォーマンス研究室 室長 OpenMPコンパイラ、計算機クラスタ技術、グリッドコンピューティング 平成13年 筑波大学 システム情報工学研究科教授 計算物理学研究センター勤務 平成18年より、計算科学研究センタ (平成16年改組) センター長			
1年間の全研究時間数		平均 毎月120時間×12ヶ月			
他制度で の助成等 の有無 (申請中 も含む)  各制度の 事業等に 割り当てる 研究時間 割合(%) (年間全仕事時間 を100%とした 際の当該研究に割 く時間配分率)	本事業	「次世代IT基盤構築のための研究開発」に係る 研究開発 H20年度～H23年度、260百万円		10%	
	各省の 競争的資金	科学研究費補助金新学術領域研究(研究領域提案型)「超大 規模大容量計算による学際計算科学」、H20年度～H24年 度、領域代表者、計画研究「超大規模大容量計算による学際 計算科学の推進」(総額34,500千円)(申請中)、学際的な計 算科学の推進をするための研究であり、本研究と直接の関 係ない。		20%	
	独立行政法人等に よる競争的 資金	JST CREST、H18年度～H22年度、2,800万円/年、「省電力 でディペンダブルな組込み並列システム向け計算プラット フォーム」(研究代表者)組込みシステム技術を開発するこ とにあるため本事業との関連性はない。		10%	
	経常的研究 等	並列システムに関する研究、教育および管理業務		50%	
研究成果等に関する情報		必要に応じ、別紙に記述のこと			

※既に応募している競争的資金制度のみならず、現在、応募しようとしている競争的資金制度について  
も、幅広く記述して下さい。(「応募中」、「申請中」の場合にはその旨を記述)



## 研究成果等に関する情報

## 1. 論文・著作等

- ・提案課題の内容に限り、これまでに発表した論文（査読制度のあるジャーナル掲載に限る）、著書（教科書、学会抄録、講演要旨は除く）等を新しいものから順に発表年次をさかのぼって記述して下さい。
- ・主要なものを選定し、1 ページ以内に収めて下さい。

## ①論文

（論文名、著者名、巻（号）、投稿誌名、最初の頁、発表年（西暦））

- "Development and Implementation of an Interactive Parallelization Assistance Tool for OpenMP: iPat/OMP", M. Ishihara, H. Honda, M. Sato, IEICE Transaction on Information Systems, Vol. E89-D, No. 2, pp. 399-407, Feb. 2006.
- "OpenGR: A directive-based grid programming environment", M. Hirano, M. Sato, Y. Tanaka, Parallel Computing 31 (2005), pp 1140-1154, 2005.
- "MPI を通信レイヤに用いるソフトウェア分散共有メモリシステム", 小島好紀, 佐藤三久, 朴泰祐, 高橋大介, 情報処理学会論文誌 コンピューティングシステム, Vol.46, No. SIG-7(ACS-10), pp.63-73, 2005.
- "An OpenMP Implementation of Parallel FFT and Its Performance on IA-64 Processors", D. Takahashi, M. Sato and T. Boku, Proc. of International Workshop on OpenMP Applications and Tools (WOMPAT 2003), Lecture Notes in Computer Science, No. 2716, Springer-Verlag, pp. 99-108, June 2003.
- "Cluster-enabled OpenMP: ソフトウェア分散共有メモリシステム SCASH 上の OpenMP コンパイラ", 佐藤, 原田, 長谷川, 石川, 情報処理学会論文誌: ハイパフォーマンスコンピューティングシステム, Vol. 42, No. SIG9(HPS3), pp.158-169, 2001.

## ②著書

「Linux で並列処理をしよう ― SCore で作るスーパーコンピュータ ―」石川、堀、原田、佐藤、住元、高橋、共立出版、2002 年

## ③学協会誌等

（タイトル、著者、学協会誌等名、巻（号）、最初と最後の頁、発表年（西暦））

- "Development and implementation of an interactive parallelization assistance tool for OpenMP: iPat/OMP", M. Ishihara, H. Honda and M. Sato, The 4th International Workshop on OpenMP: Experiences and Implementations (WOMPEI 2005), pp. 2-9, January 2005.
- "Design of Software Distributed Shared Memory System using MPI communication layer", Y. Ojima, M. Sato, T. Boku and D. Takahashi, The 4th International Workshop on OpenMP: Experiences and Implementations (WOMPEI 2005), pp. 18-25, January 2005.
- "OpenMPI – OpenMP like tool for easy programming in MPI", Taisuke Baku, Mitsuhisa Sato, Masazumi Matsubara, Daisuke Takahashi, Proceedings of 6th European Workshop on OpenMP (EWOMP'04).
- "Preliminary Evaluation of Dynamic Load Balancing Using Loop Re-partitioning on Omni/SCASH", Y. Sakae, S. Matsuoka, M. Sato and H. Harada, Workshop on Distributed Shared Memory on Clusters DSM2003 in Proc. of the 3rd IEEE/ACM International Symposium on Cluster Computing and the Grid (CCGrid 2003), pp. 463-470, May 2003.
- "Performance of Cluster-enabled OpenMP for the SCASH Software Distributed Shared Memory System", Y. Ojima, M. Sato, H. Harada, Y. Ishikawa, Workshop on Distributed Shared Memory on Clusters DSM2003 in Proc. of the 3rd IEEE/ACM International Symposium on Cluster Computing and the Grid (CCGrid 2003), pp. 450-456, May 2003.

## (様式12)

### 2. 特許等 (申請中のものについては内数として括弧内に記述)

国内特許	2 件 ( 0 件)	国外特許	0 件 ( 0 件)
------	------------	------	------------

- ・主要な特許について、特許名、特許番号、取得または出願年月日を記述して下さい。  
(出願・広告等の日付, 「発明の名称」, 発明者氏名, 出願人名, 国名, 特許等の番号・種類の順)
- ・「データ依存グラフの最適化生成方式」, 特許番号 5-303658, 出願(登録) 1992 年 4 月 24 日
- ・「結合網装置」, 特許番号 AP148305, 出願(登録)1994 年 2 月 18 日

### 3. 受賞暦、表彰暦

- ・主要なものについて、年月日、受賞名等を記述して下さい。  
(受賞者名: 「件名」, 受賞等年月日等の順)
- 情報処理学会 研究賞 平成 4 年
- 並列処理シンポジウム 最優秀論文賞「Cluster-enabled OpenMP: ソフトウェア分散共有メモリシステム SCASH 上の OpenMP コンパイラ」 平成 12 年
- 情報処理学会 研究賞 「Cluster-enabled OpenMP: ソフトウェア分散共有メモリシステム SCASH 上の OpenMP コンパイラ」 平成 13 年
- 情報処理学会 論文賞「OmniRPC:グリッド環境での並列プログラミングのための Grid RPC システム」 平成 15 年

### 4. 研究実績等

・関連した分野における研究開発プロジェクトへの参画実績及びその成果を記述して下さい。

平成 8 年から平成 13 年まで、経済産業省 (当時通産省) のリアルワールドコンピューティングプロジェクトに参画し、発表されて間もない時期にフリーの実装である Omni OpenMP コンパイラをリリースし、その後、分散メモリであるクラスタ上での OpenMP コンパイラを発表した。この研究については、論文賞や研究賞を授与し高く評価されている。OpenMP コミュニティの運営にも深く関与しており、OpenMP のユーザグループである COMpunity の日本国内から唯一の設立メンバーであり、OpenMP の国際ワークショップを日本にて 3 回にわたって開催し、毎年開催されているこのシリーズのワークショップについても運営委員会 (Steering Committee) として参画している。日本国内の H P F の活動についても関係をもっており、今回、理化学研究所が開発する次世代スパコンの開発本部の支援を受けて、次世代スパコンを視野にいたした並列プログラミング言語の検討委員会を組織・運営している。

平成 8 年から 12 年には情報処理学会ハイパフォーマンスコンピューティング研究会の主査として、HPC の研究の振興に貢献し、国内で並列処理技術に関する主要学会である SACSIS2005 では組織委員長としてシンポジウムを運営した。そのほか、HPCAsisa2004, Cluster 2008 のプログラム委員長のほか、並列処理、H P C の主要国際学会の委員を多数務めている。

筑波大学計算科学研究センターにおいては、平成 18 年度から、センター長として、計算科学と計算機科学を融合した学際的な計算科学の推進に取り組んでいる。

## 研究者データ

※研究代表者及び参画する全てのサブテーマ責任者について作成。

ふりがな 氏名	なかしま ひろし 中島 浩	生年月日	西暦 1956年 5月11日 (51歳) *2008年1月1日現在の年齢	
所属機関 ・組織	ふりがな 所在地	〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町 Tel. 075-753-7457 Fax. 075-753-7448 E-mail: h.nakashima@media.kyoto-u.ac.jp		
	機 関 名 所属部署	京都大学学術情報メディアセンター	役 職 名	教授
研究歴	最終学歴	昭和56年 京都大学大学院工学研究科修士課程修了		
	学位	平成3年 博士号(工学)取得(京都大学)		
	主な職歴 と 研究内容	昭和56年～平成4年 三菱電機株式会社 推論マシンについて研究 平成4年～平成9年 京都大学工学部助教授 並列システム・並列プログラミング言語について研究 平成9年～平成18年 豊橋技術科学大学工学部教授 並列システム・並列プログラミング言語について研究 平成18年～ 京都大学学術情報メディアセンター教授 並列システム・並列プログラミング言語について研究		
1年間の全研究時間数		平均 毎月120時間×12ヶ月		
他制度で の助成等 の有無 (申請中 も含む)  各制度の 事業等に 割り当てる 研究時間 割合(%) (年間全仕事時間 を100%とした 際の当該研究に割 く時間配分率)	本事業	「次世代IT基盤構築のための研究開発」に係る 研究開発 ・H20年度～H23年度、見込み経費額 239,460千円		10%
	各省の 競争的資金	科学研究費補助金新学術領域研究(研究領域提案型)、 H20年度～H24年度、51,000千円(総申請額)、「超大 規模大容量計算を実現するエクサスケラブルアーキ テクチャ」(研究代表者、申請中) 並列システムアーキテクチャに関する研究であり、本 事業との関連性はない。		10%
		科学研究費補助金特定領域研究、H19年度～H20年度、 10,800千円(総額)、「高性能計算の高精度モデル化技 術」(研究代表者) 並列計算の性能モデリングに関する研究であり、本事 業との関連性はない。		10%
		科学研究費補助金基盤研究(B)、H20年度～H22年度、 14,700千円(総額)、「並列化技法ライブラリとその構 築技術」 並列プログラムの作成法に関する研究であり、本事業 との関連性はない。		15%
		科学研究費補助金萌芽研究、H18年度～H20年度、 2,900千円(総額)、「計算再利用と投機実行のためのプ ログラム変換方式の研究」 プログラム高速化技法に関する研究であり、本事業と の関連性はない。		10%
	経常的研究 等	並列システムに関する研究、教育および管理業務		45%
研究成果等に関する情報		必要に応じ、別紙に記述のこと		

## 研究成果等に関する情報

## 1. 論文・著作等

## ①論文

- タスク並列スクリプト言語処理系におけるユーザレベル機能拡張機構、阪口裕輔, 大野和彦, 佐々木敬泰, 近藤利夫, 中島浩、47(SIG12)、情処論 ACS、296、2006.
- データ再演法による並列プログラムデバグging、丸山真佐夫, 津邑公暁, 中島浩、46(SIG11)、情処論 ACS、214、2005.
- タスク並列言語 MegaScript 向け高精度実行モデルの構築、湯山紘史, 津邑公暁, 中島浩、46(SIG11)、情処論 ACS、181、2005.
- 巻き戻し実行をサポートする並列プログラムデバグガ、丸山真佐夫, 山本繁弘, 大野和彦, 中島浩、45(SIG3)、情処論 ACS、109、2004.
- プロセスネットワークを宣言的に記述する並列言語、大野和彦, 山本繁弘, 岡野孝典, 中島浩、42(SIG12)、情処論 HPS、95、2001.
- A Technique to Eliminate Redundant Inter-Processor Communication on Parallelizing Compiler TINPAR、A. Kubota, S. Tatsumi, T. Tanaka, M. Goshima, S. Mori, H. Nakashima, S. Tomita、27(2)、Intl. J. Parallel Programming、97、1999.
- 静的解析による並列論理型言語 KL1 の最適化手法、大野和彦, 伊川雅彦, 森眞一郎, 中島浩, 富田眞治、38(8)、情処論、1638、1997.
- メッセージ交換型並列計算機のための並列化コンパイラ TINPAR、三吉郁夫, 前山浩二, 後藤慎也, 森眞一郎, 中島浩, 富田眞治、37(7)、情処論、1265、1996.

## ②著書

## ③学協会誌等

- Kazuhiko Ohno, Yusuke Sakaguchi, Takahiro Sasaki, Toshio Kondo, Hiroshi Nakashima. A User-level Extension Scheme for a Task Parallel Script Language. In Proc. Intl. Conf. Parallel and Distributed Computing and Systems, pp. 274-281, 2007.
- Masao Maruyama, Tomoaki Tsumura, Hiroshi Nakashima. Parallel Program Debugging Based on Data-replay. In Proc. 17th IASTED Intl. Conf. Parallel and Distributed Computing and Systems, pp. 151-156, 2005.
- 外崎由里子, 中田尚, 大野和彦, 中島浩. 並列スクリプト言語(Perl)+の実装と設計. 並列処理シンポジウム JSPP'02, pp. 241-244, 2002.
- Kazuhiko Ohno, Takanori Okano, Shigehiro Yamamoto, Hiroshi Nakashima. Orgel: An Parallel Programming Language with Declarative Communication Streams. In 3rd Intl. Symp. High Performance Computing, pp. 344-354, 2000.
- Shin-ya Goto, Atsushi Kubota, Toshihiko Tanaka, Masahiro Goshima, Shin-ichiro Mori, Hiroshi Nakashima, Shinji Tomita. Optimized Code Generation for Heterogeneous Computing Environment Using Parallelizing Compiler TINPAR. In 7th Intl. Conf. Parallel Architecture and Compilation Techniques, pp. 426-433, 1998.
- Hiroshi Nakashima, Kazuhiko Ohno. Optimizing KLIC with Static Analysis. In Proc. Intl. Conf. Applications of Prolog, pp. 18-26, 1998.

## (様式12)

### 2. 特許等 (申請中のものについては内数として括弧内に記述)

国内特許	2 件 (1 件)	国外特許	0 件(2 件 )
------	-----------	------	-----------

1. 1998.11.13 (登録日)、「メッセージ通信方式」、中島浩、日本、特許 2850624
2. 2007.5.11 (登録日)、「マイクロプロセッサの並列シミュレーションシステム」、中島浩、日本、特許 3955843

### 3. 受賞暦、表彰暦

1. 中島浩 : 「元岡記念賞」,1988.11
2. 中島浩 : 「情報処理学会・坂井記念特別賞」,1993.5

### 4. 研究実績等

三菱電機(株)に在籍中の 1983 年から 1992 年まで、通商産業省 (当時) による第五世代コンピュータプロジェクトに参画し、推論マシンのアーキテクチャに関する研究開発を主導的に行うとともに、論理型言語の高性能実装にも関与した。1992 年に京都大学工学部助教授となった後も、ICOT および情報処理開発協会の支援により並列論理型言語の高性能実装に関する研究を続け、併せて並列化コンパイラ TINPAR の研究も行った。その後 1998 年から 2000 年には豊橋技術科学大学で日本学術振興会の未来開拓学術研究推進事業において、ストリーム並列の概念を手続型言語に導入した「マルチエージェントパラダイムと宣言的通信ストリームに基づく並列言語」の研究を行った。続いて 2001 年から 2006 年まで、科学技術振興機構の戦略的想像研究推進事業 (CREST タイプ) の研究プロジェクト「超低電力化技術によるディペンダブルメガスケールコンピューティング」を研究代表者として主宰し、それ以前に行っていたスクリプト言語 Perl に並列計算の概念を導入した Perl+の研究をベースとして、並列スクリプト言語 MegaScript の研究を行った。MegaScript は 2006 年から参画している科学研究費特定領域研究「情報爆発時代に向けた新しい IT 基盤技術の研究」において「高性能計算の高精度モデル化技術」の研究におけるベース言語としても引き続き利用している。

## 研究者データ

※研究代表者及び参画する全てのサブテーマ責任者について作成。

ふりがな 氏名	かたぎり たかひろ 片桐 孝洋	生年月日	西暦 1973年4月12日 (34歳) *2008年1月1日現在の年齢	
所属機関 ・組織	ふりがな 所在地	〒113-8658 東京都文京区弥生2-11-16 ☎.03-5841-2710 Fax.03-5841-2708 E-mail: katagiri@cc.u-tokyo.ac.jp		
	機 関 名 所属部署	東京大学情報基盤センター	役 職 名	特任准教授
研究歴	最終学歴	平成13年 東京大学大学院理学系研究科情報科学専攻卒業		
	学位	平成13年 博士号(理学)取得(東京大学)		
	主な職歴 と 研究内容	平成13年～平成14年 科学技術振興事業団(現・独立行政法人 科学技術振興機構) 研究者 ソフトウェア自動チューニングに関する研究に従事 平成14年～平成19年 電気通信大学 大学院情報システム学研究科 助手 ソフトウェア自動チューニング・システムソフトウェア研究 平成19年～現在 東京大学 情報基盤センター 特任准教授		
1年間の全研究時間数		平均 毎月160時間×12ヶ月		
他制度で の助成等 の有無 (申請中 も含む)  各制度の 事業等に 割り当てる 研究時間 割合(%) (年間全仕事時間 を100%とした 際の当該研究に割 く時間配分率)	本事業	「次世代IT基盤構築のための研究開発」に係る 研究開発 ・H20年度～H23年度、119.73百万円	20%	
	各省の 競争的資金	科学研究費補助金基盤研究(B)、H20年度～H22年度、 700千円(H20年度)、「階層的なアルゴリズム選択機構 を有する自動チューニング方式の研究」、研究分担者、階 層的な機構をもつ自動チューニング方式に関連する研究 のため、本事業との関連性はない。	20%	
	独立行政法人等 による競争的 資金	なし	0%	
	公募型の外部 資金	なし	0%	
	その他の外部 資金	なし	0%	
	経常的研究 等	高性能計算に関する教育、ユーザ支援業務、ソフトウェ ア自動チューニングに関する研究	60%	
研究成果等に関する情報		必要に応じ、別紙に記述のこと		

※既に応募している競争的資金制度のみならず、現在、応募しようとしている競争的資金制度について  
も、幅広く記述して下さい。(「応募中」、「申請中」の場合にはその旨を記述)

## 研究成果等に関する情報

## 1. 論文・著作等

## ①論文

- ソフトウェア自動チューニングにおける標本点逐次追加型性能パラメタ推定法の疎行列計算への適用、田中輝雄、片桐孝洋、弓場敏嗣、Vol.48、No. SIG13 (ACS 19)、情報処理学会論文誌：コンピューティングシステム、pp. 223 (2007)
- ソフトウェア自動チューニングにおける標本点追加型性能パラメタ推定法、田中輝雄、片桐孝洋、弓場敏嗣、Vol.J90-A、No.4、電子情報通信学会論文誌 A、pp.281 (2007)
- ABCLib\_DRSED: A Parallel Eigensolver with an Auto-tuning Facility, Takahiro Katagiri, Kenji Kise, Hiroki Honda, and Toshitsugu Yuba, Vol.32, Issue 3, Parallel Computing, pp.231 (2006)
- ABCLibScript: A Directive to Support Specification of An Auto-tuning Facility for Numerical Software, Takahiro Katagiri, Kenji Kise, Hiroki Honda, and Toshitsugu Yuba, Vol.32, Issue 1, Parallel Computing, pp.92 (2006)

## ②著書

- ソフトウェア自動チューニング --数値計算ソフトウェアへの適用とその可能性、片桐孝洋、慧文社、2004年12月

## ③学協会誌等

- d-Spline Based Incremental Parameter Estimation in Automatic Performance Tuning, Teruo Tanaka, Takahiro Katagiri, and Toshitsugu Yuba, Springer LNCS 4699, Selected Paper of Workshop On State-of-the-art In Scientific And Parallel Computing (PARA'06), pp.986 (2007)
- Automatic Performance Tuning for the Multi-section with Multiple Eigenvalues Method for the Symmetric Eigenproblem, Takahiro Katagiri, Christof Voemel, and James Demmel, Springer LNCS 4699, Selected Paper of Workshop On State-of-the-art In Scientific And Parallel Computing (PARA'06), pp.938 (2007)
- Parallel Processing of Matrix Multiplication in a CPU and GPU Heterogeneous Environment, Satoshi Ohshima, Kenji Kise, Takahiro Katagiri, and Toshitsugu Yuba, Springer LNCS 4395, Selected Paper of VECPAR'2006, pp.305 (2007)

## 2. 特許等 (申請中のものについては内数として括弧内に記述)

国内特許	3 件 ( 3 件 )	国外特許	0 件 ( 0 件 )
------	-------------	------	-------------

・主要な特許について、特許名、特許番号、取得または出願年月日を記述して下さい。

- 「プログラム、記録媒体およびコンピュータ」、特願2003-022792、平成15年1月30日

## 3. 受賞暦、表彰暦

- 情報処理学会：「山下記念研究賞」、2002
- 片桐孝洋、Microsoft INNOVATION AWARD 2007、アカデミック部門、最優秀賞 受賞、2007

## 4. 研究実績等

- 2007年～現在：

## (様式12)

東京大学 情報基盤センター スーパーコンピューティング部門 特任准教授として、ソフトウェア自動チューニングに関する方式研究とミドルウェア研究開発をおこなっている。また、数値計算ライブラリの研究、および高性能計算の教育に従事している。

- 2005年～2006年

米国カリフォルニア大学 バークレー校 計算機科学科 に 訪問学者 として滞在。数値計算ライブラリの並列方式研究、および自動チューニングの研究に従事する。

- 数値計算ライブラリLAPACK開発グループ(PI: James Demmel教授)において、先進固有値計算アルゴリズムMRRRのマルチコア向き並列化方式「多固有値多分法」を開発した。

- 2002年～2007年

国立大学法人 電気通信大学 大学院情報システム学研究科 情報ネットワーク学専攻 助手として、ソフトウェア自動チューニング、自動並列化コンパイラ、システムミドルウェアの研究に従事する。

- 自動チューニングソフトウェアのフレームワーク **FIBER** の提案
- 自動チューニング機能付き並列数値計算ライブラリ **ABCLib** の研究開発
- 自動チューニング処理記述計算機言語 **ABCLibScript** の研究開発



## (様式13)

## 機関・組織データ

※ 機関・組織毎に作成。

※

※いずれの記入欄も概略で構いません。(詳細なパンフレット等の添付は不要です。)

機関・組織名	東京大学			
研究者数	在籍する研究者総数（概数）	4671 人		
	うち、当該提案課題に携わる研究者数（概数）	7 人		
財務状況		平成 16 年度	平成 17 年度	平成 18 年度
	総決算額 （億円）	2,067	2,315	1,980
	外部資金※の獲得総数 （決算ベース、億円）	514	394	417

※機関・組織全体として公募型資金等により外部から獲得した研究開発に係る補助金、委託費等

機関・組織名	国立大学法人筑波大学			
研究者数	在籍する研究者総数（概数）	1,487 人		
	うち、当該提案課題に携わる研究者数（概数）	4 人		
財務状況		平成 16 年度	平成 17 年度	平成 18 年度
	総決算額 （億円）	7 2 6	9 0 6	8 5 0
	外部資金※の獲得総数 （決算ベース、億円）	6 0	7 2	7 8

機関・組織名	京都大学			
研究者数	在籍する研究者総数（概数）	3000 人		
	うち、当該提案課題に携わる研究者数（概数）	6 人		
財務状況		平成 16 年度	平成 17 年度	平成 18 年度
	総決算額 （億円）	1,191	1,436	1,286
	外部資金※の獲得総数 （決算ベース、億円）	155	213	212