

# 性能可搬性を達成するソフトウェア

## —自動チューニング機構の創製—

片桐孝洋

### 要旨

コンピュータサイエンスが成熟期を迎え、あらゆる分野で高性能なソフトウェアが多数開発されています。このような状況では、開発されたプログラム（＝レガシーコード）の再利用が重要な課題となります。

そこで我々は、ハードウェアやコンパイラを含む計算機環境に依存せずに、レガシーコードが高性能となるようにインストールされ実行できること（＝性能可搬性）を達成する新技術である、ソフトウェア自動チューニングの研究を行いました。本講演では、そのフレームワークおよび開発ソフトウェアの紹介を行います。

### 1. 研究のねらい

コンピュータサイエンスが成熟期を迎え、あらゆる分野で高性能なソフトウェアが多数開発されています。このような状況では、すでに開発されたプログラムであるレガシーコードの再利用が重要な課題となります。

そこで我々は、ハードウェアやコンパイラを含む計算機環境に依存せずに、レガシーコードが高性能となるようにインストールされて実行できるという概念の性能可搬性を達成すべき重要な課題としました。性能可搬性を達成するため、いままで研究がされてこなかった、新しいソフトウェア・パラダイムのソフトウェア自動チューニングという新技術の確立を狙うことが本研究の狙いです。

### 2. 研究方法と成果

#### 2.1 F I B E Rプロジェクト

本研究では、F I B E R (Framework of Install-time, Before Execute-time, and Run-time optimization layers) 方式と呼ぶ、新しい自動チューニング方式を提案しました。このF I B E R方式の評価検証、およびF I B E R方式を基にした自動チューニング用のソフトウェア（オート・チューン・ウェア）を開発するプロジェクトをF I B E Rプロジェクトと呼びます。

F I B E Rプロジェクトでは、ソフトウェア自動チューニング行うソフトウェアをミドルウェア、すなわち、OS（オペレーティング・システム）とアプリケーション・ソフトウェアの間に位置するソフトウェアとしています。自動チューニングのためのミドルウェアを利用する

ことで、ある1種類のプログラムで記述されたソフトウェアが性能劣化することなく、多くの計算機環境にインストールされて実行できること(=性能可搬性)を、プロジェクトのゴールとしています。図1に概略を示します。

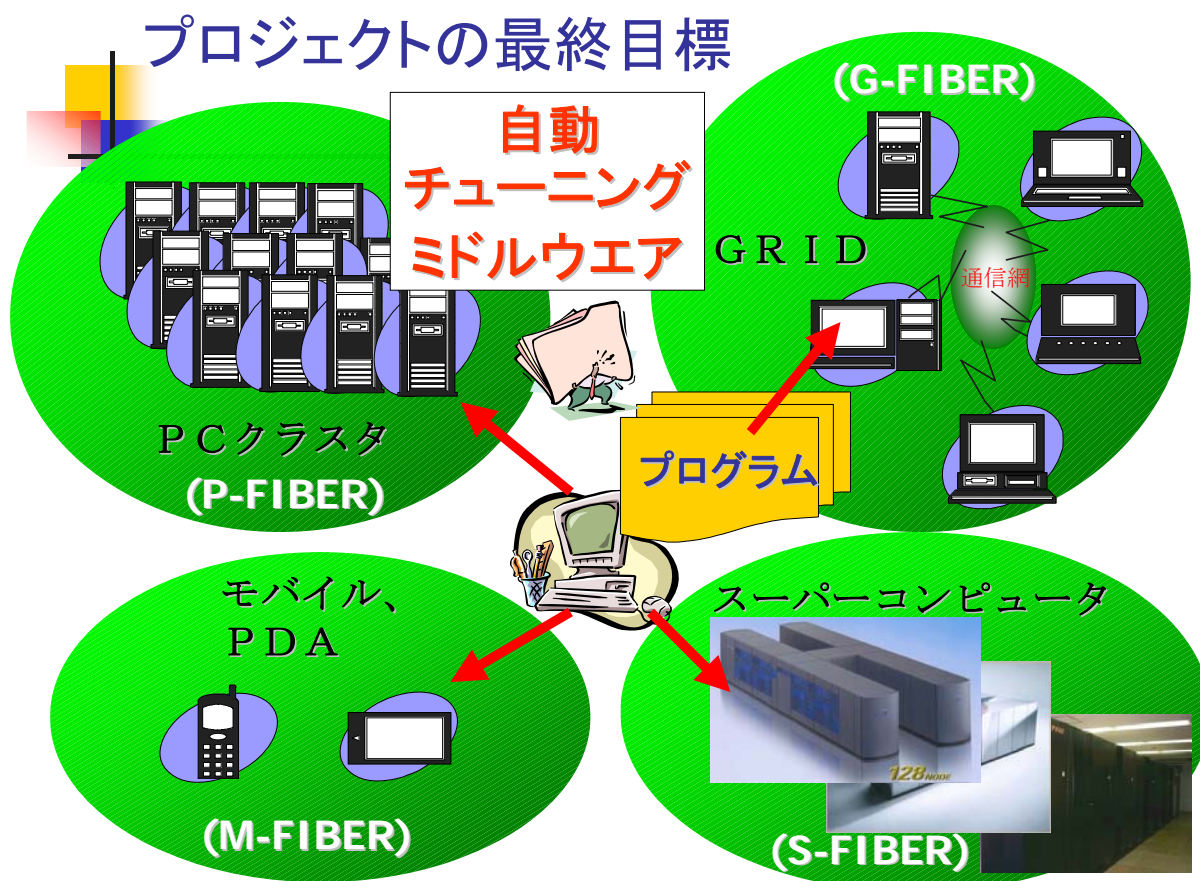


図1 F I B E Rプロジェクトの目標

図1が示すように、対象となる計算機環境は複数ありますが、個別の計算機環境に特化したF I B E Rミドルウェアの仕様与えることを考えています。その仕様の名称は、以下に示すとおりです。

- PCクラスタ用FIBER仕様 (P-FIBER)
- スーパーコンピュータ用FIBER仕様 (S-FIBER)
- GRID環境用FIBER仕様 (G-FIBER)
- モバイル・PDA用FIBER仕様 (M-FIBER)

なお後で説明する、*ABCLibScript*は、*S-FIBER*の全部と*P-FIBER*の一部の仕様を満たすソフトウェア(ツール)であるといえます。

このような多種多様な計算機環境において、ソフトウェア自動チューニング方式の効果検証を行い、専用ツールを開発するのがFIBERプロジェクトの最終目標です。しかし対象範囲が膨大なため、科学技術振興機構で行うプロジェクトの期間3年内では達成できません。そこで対象を数値計算処理に限定し、計算機環境をPCクラスタやスーパーコンピュータに限定することで研究活動を行ってきました。

## 2. 2 FIBER方式の概略

つぎにFIBERプロジェクトで行う、FIBER方式の概略を説明したいと思います。図2に、FIBER方式の概略を示します。

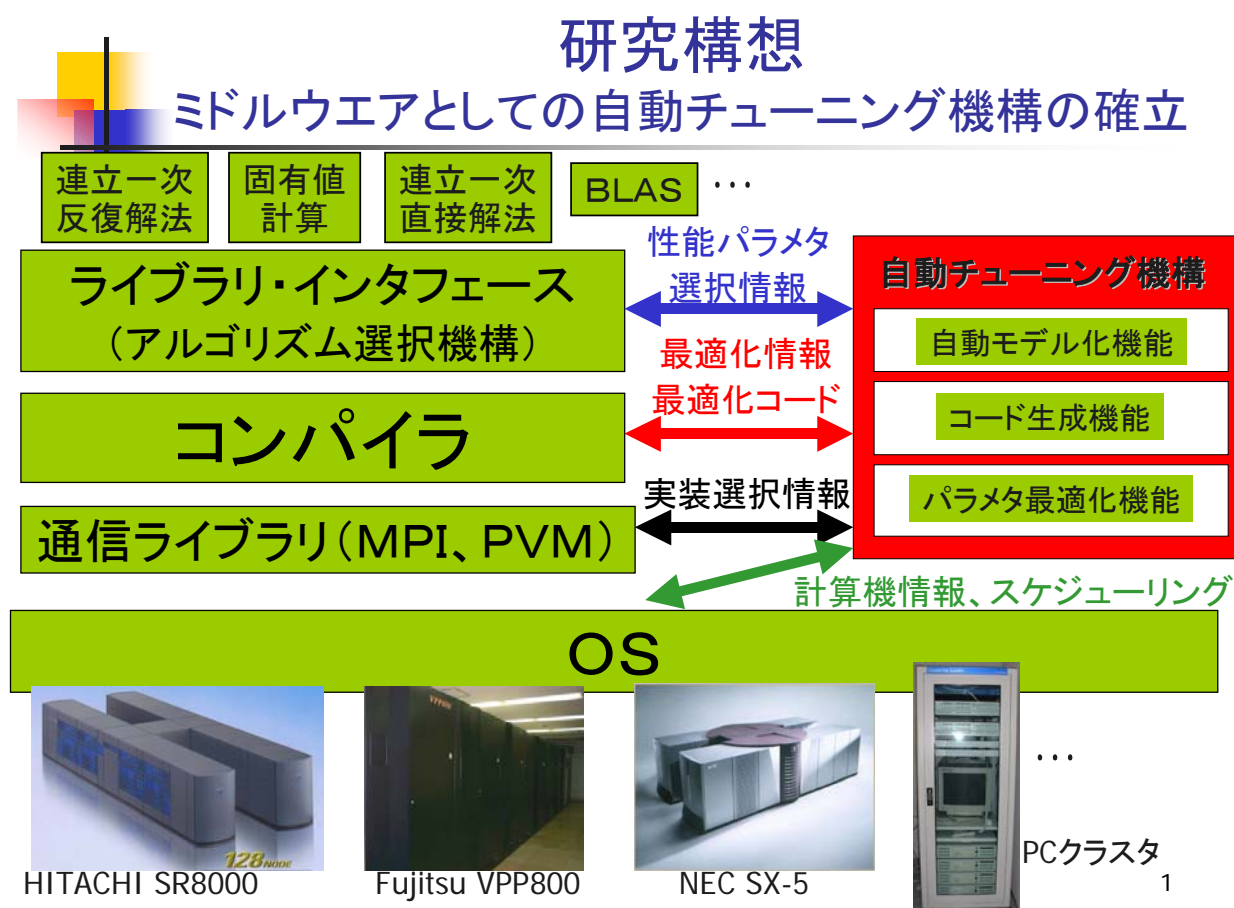


図2 FIBER方式の概略

図2に示したように、自動チューニング機構がFIBER方式にはあります。この自動チューニング機構は、自動モデル化機能、コード生成機能、およびパラメタ最適化機能を有し、これらの機能を利用することでソフトウェア自動チューニングを行います。

自動チューニングすべき対象は、以下の通りです。

- 数値計算ライブラリでのユーザインタフェース上における性能パラメタ
- コンパイラにおける最適化コード
- 通信ライブラリにおける性能パラメタや実装方式
- OSにおけるスケジューリング

これらの対象を、パラメタ化し自動チューニングすることで、PCクラスタからスーパーコンピュータに至る広範な並列計算機環境で性能可搬性を保証します。

### 2. 3 F I B E R方式利用のシナリオ

F I B E R方式では、ユーザをソフトウェア開発者とエンドユーザの2種に分けて、自動チューニングの利用方法を分離しました。

まずソフトウェア開発者は、開発するソフトウェアの専門家であり、自分のソフトウェアにおいて、どこに自動チューニングを施せば効果があるか知っているユーザです。ソフトウェア開発者は、我々が開発した自動チューニング用計算機言語 *ABCLibScript* を用いて、自動チューニング機構を実装し、自動チューニング機構が付加された計算機コードを自動生成させます。そのあと、自動生成したコードをエンドユーザにリリースします。

次にエンドユーザは、ソフトウェア開発者がリリースしたソフトウェアの利用方法を知っているユーザです。エンドユーザについて、自動チューニングを行うタイミングを3種類に分けたことがF I B E R方式の大きな特徴です。まずエンドユーザは、自分の環境に公開ソフトウェアをインストールします。このとき、F I B E R方式の**インストール時最適化**が行われます。このあとエンドユーザは、ソフトウェアを使うための特別な情報を、自動チューニングシステムに通知します。その後、F I B E R方式の**実行起動前最適化**を行います。さいごに、エンドユーザがソフトウェアを実行させ、エンドユーザが行いたい処理をさせます。この時に行われるのが、F I B E R方式の**実行時最適化**です。

このように3種類の自動チューニング階層、3種類の自動チューニング・タイミングを有する方式が、F I B E R方式なのです。F I B E R方式により、従来方式では適用が限定された処理にも自動チューニングが適用できるようになりました。また、従来方式よりも自動チューニングの効果が増すことが実証されています。

## 2. 4 研究成果

本研究では性能可搬性の達成を、以下のソフトウェアの開発により成功に導きました。

- 自動チューニング機能付き並列固有値計算ライブラリ *ABCLib\_DRSSSED* :  
*ABCLib* (Automatically Blocking-and-Communication adjustment Library) という自動チューニング機能付き数値計算ライブラリの固有値計算用パッケージです。F I B E R方式に基づく自動チューニング機構を付加した、並列数値計算ライブラリです。
- *ABCLibScript*用プリプロセッサ *ABCLibCodeGen* :  
数値計算の専門家であるライブラリ開発者がF I B E R方式の自動チューニング機構を容易に付加するための計算機言語*ABCLibScript*を解釈し、汎用的な計算機言語（ここではFortran90言語）を自動生成するプリプロセッサです。
- 自動チューニング経緯閲覧用ビジュアライザ *VizABCLib* :  
自動チューニング経緯を閲覧できるビジュアライザです。*ABCLibCodeGen*と連携しており、ライブラリ開発者が容易に自動チューニング経緯をチェックすることができます。

なお本研究で開発された *ABCLib\_DRSSSED* には、本研究により新しく開発された要素技術が多数入っています。また *ABCLibScript* は、世界で初めて開発された自動チューニング用計算機言語です。

これらソフトウェアの詳細および性能については、講演時に紹介します。

## 3. 今後の展望

自動チューニング方式F I B E Rについて、適用が期待される分野は以下の通りです。

### 3. 1 数値計算全般

F I B E R方式は、数値計算処理をターゲットとして開発されたソフトウェア自動チューニングフレームワークです。したがって、より幅広い種類の数値計算アプリケーションへの適用が期待できます。

- 疎行列反復解法における前処理方式の自動選択 :  
疎行列反復解法における最適な前処理方式は、疎行列の数値特性、零要素の位置、適用する反復解法アルゴリズムに依存します。したがって、前処理方式を最適に決定することは難しい問題です。前処理の選択に関する自動チューニングは重要な応用例となります。
- 疎行列ダイレクトソルバにおけるオーダリング方式自動選択 :  
疎行列反復解法における前処理方式の自動選択と同様に、疎行列ダイレクトソルバにおいては最適なオーダリング方式いう、零要素に零以外の値が入る（フィルインとよぶ）こと

を最小化する、行列要素の並べ替え方式の自動選択が重要な適用例となります。

- 数値計算ライブラリにおけるポリシーを考慮した自動選択：

数値計算においては実行速度もさることながら、演算結果の精度も考慮しなくてはなりません。つまり、実行時間と演算精度を考慮した自動チューニングが必要となります。一般に反復解法では、実行時間と解の精度がトレードオフの関係になることが知られています。そこで、固有値計算における反復解法ライブラリにおいて、実行速度と演算精度の指標をポリシーして与え、それを基にした評価尺度から最適なライブラリ（解法）を選択することで自動チューニングを行う研究が開始されています。

### 3. 2 GRID 環境

GRID環境では、構成される計算機が非均質な性能を有し、かつ各計算機がつながっているネットワーク性能でさえも非均質です。さらに、それらの性能が不安定です。このようなGRID環境では、さまざまな用途で自動チューニングの適用が期待されています。

- GRID環境上での数値ライブラリ性能最適化：

GRID環境では実行時にならないと、どの計算機で自分のソフトウェアが実行されるかわかりません。したがって、数値計算ライブラリにおける性能パラメタも、実行時にならないと最適なパラメタが設定できません。GRID環境における数値計算ライブラリの性能パラメタの自動チューニングは、自動チューニング用ソフトウェアに期待されている大きな課題の一つです。

- GRIDポータル上でのアルゴリズム最適化：

GRIDポータルは、複数の利用者が同一のライブラリを利用します。その場合高速化のため、ユーザの利用するデータ（行列データ）の特性に応じて、アルゴリズム（例えば、反復解法ソルバの前処理方式）を切り替える必要があります。このようなアルゴリズムの自動切り替えも、自動チューニング用ソフトウェアに期待される事項です。

- 計算機管理（ポリシー制御）：

GRID環境は、とてつもなく多様な計算機環境（OS や計算機アーキテクチャ）からなる、巨大な計算機システムであるといえます。したがって、いままで手動で行うことができた計算機管理作業でさえ実行できなくなってしまう。

一方で、例えば、あるジョブにはどれだけメモリを割り当てるか、というような資源管理でさえ、とても大変となります。そこで、これらの管理方針をポリシーとして与え、資源管理などの計算機管理作業を自動化することが重要なテーマとなります。

GRID環境では、自動チューニングのコスト定義関数として、資源管理や障害復旧のポリシーを与えることで、自動的に計算機管理ポリシーもチューニングできる自動チューニングフレームワークの確立が必須となります。

### 3. 3 組み込みシステム

モバイル情報機器（PDA、携帯電話）などに利用される組み込みシステムは、メモリ、低電力、リアルタイム性、動作環境（温度条件など）、軽量化などの厳しい工学的な制約を守るように設計され、開発されます。またこの制約を守るように専用化したシステムであるといえます。これらの組み込みシステム開発は現在、システム毎に手作りの作業で開発されており、自動的に開発をサポートする枠組みがありません。それゆえに、ソフトウェア作成工程が長くなってしまいます。

そこで利用するライブラリ、ソフトウェア、組み込み OS カーネルなどについて、コスト定義関数をメモリ制約や低電力制約の観点から定義します。そして自動チューニングを行い、これら PDA 用ソフトウェアの選択自動化を行います。自動チューニングのタイミングについては、組み込みソフトウェア開発時に 1 度行い、組み込み後それをずっと利用するのか（インストール時）、また実行時に動的に選択させるのか（実行時）、はたまたハードウェア特性が定まった時点で 1 度だけチューニングを行い、それをずっと利用するのか（実行起動前）など、FIBER 方式の自動チューニング・タイミングについて、組み込みシステムの特性を考慮して適用する必要があります。

このソフトウェア適用の自動化という自動チューニングにより、PDA に関するソフトウェア開発工程の大幅な短縮が期待できるといえます。なお、FIBER の組み込みソフトウェアに対する適用事例の調査は今後の課題です。

### 3. 4 データベースシステム

データベースシステムでは、システムを長く運用すると運用時間に比例してディスク領域に格納されたページ内のレコードが断片化（フラグメンテーション）され、パフォーマンスに大きな影響を与えることがあります。ですから、これを調整する必要があります。また検索処理などでは、計算負荷に応じた適切な CPU 割り当てや、メモリの割り振りを調整する必要があります。さらに、並列クエリをサポートするデータベースでは、クエリを並列に処理するか、非並列に処理するかを決定する設定に対してチューニングを行います。

これらデータベースシステム特有の自動チューニング項目に関して ABCLibScript で自動チューニング処理を記述することで、データベースシステム開発に貢献することも重要な適用例となり得るでしょう。

### 3. 5 ディペンダブルコンピューティング技術への応用

現在、安心で信頼できる計算機システムを構築できる技術の研究として、ディペンダブルコンピューティングの研究が盛んに行われています。自動チューニング機構は、このディペンダブルコンピューティングを実現するため、信頼性（ディペンダビリティ）を高める機構として応用できる可能性があります。

例えば、エンドユーザが利用するソフトウェアにおいて、計算機が変わるごとに演算精度が

変動し、それによりソフトウェア上の不具合が生じたとしましょう。このような状況では、エンドユーザは信頼してシステムを利用できません。

この状況を改善するために、FIBER方式の実行起動前最適化を利用し、エンドユーザが要求する精度以下の処理を選択する自動チューニングを施します。このことで、計算機環境が変化しても、常に安定した精度の演算処理が実現できるようになります。すなわち、システムに対するエンドユーザの信頼性が向上するわけです。

このようなシナリオにおける、ディペンダブルコンピューティングのための自動チューニングの研究は、今後重要なテーマになっていくと信じています。

### 3. 6 おわりに

このように、本研究で提案された「ソフトウェア自動チューニング」というパラダイムは、数値計算に限定しない分野も適用が期待できる新技術です。

また、本研究で行われた「ソフトウェア自動チューニング」という研究分野は、世界的にみても確立された分野ではありません。本研究により初めて重要性が認識された分野だといえるのです。

現在、IT（情報技術）が関連する産業分野では、インドや中国に代表される安価で大量の技術者を輩出できる国にソフトウェア生産が集中し、我が国独自でソフトウェア開発ができなくなるのが懸念されています。この状況を打破するのが、ソフトウェア開発の「自動化」による、劇的な開発コスト削減です。本研究で開発されたソフトウェア自動チューニング技術による「自動化」は、この状況を打破できる本質的な技術シーズであると信じています。

## 4. 発表リスト

論文（国際、国内）

1. KATAGIRI Takahiro, Springer LNCS 2565, Selected Papers and Invited Talks of High Performance Computing for Computational Science VECPAR 2002, pp.302--314 (2003): "Performance Evaluation of Parallel Gram-Schmidt Re-Orthogonalization Methods"
2. KATAGIRI Takahiro, KISE Kenji, HONDA Hiroki, and YUBA Toshitsugu, Springer LNCS 2858, pp.146--159, The Fifth International Symposium on High Performance Computing (ISHPC-V), Tokyo Fashion Town Building, Tokyo International Trade Center (Odaiba, Tokyo, JAPAN), October 20-22, 2003: "FIBER: A General Framework for Auto-Tuning Software"
3. 片桐孝洋, 吉瀬謙二, 本多弘樹, 弓場敏嗣, 情報処理学会論文誌: コンピューティングシステム, Vol.45, No. SIG 6 (ACS 6), pp.75--85 (2004): 「データ再分散を行う並列 Gram-Schmidt 再直交化」



4. KATAGIRI Takahiro, Proceedings of VecPar2002, pp. 71--83, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, June, 26 -- 28, 2002 : "Performance Evaluation of Parallel Gram-Schmidt Re-Orthogonalization Methods"
5. KUDOH Makoto, KURODA Hisayasu, KATAGIRI Takahiro, and KANADA Yasumasa, Proceedings of VecPar2002, pp. 43--55, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, June, 26 -- 28, 2002 : "Optimal Algorithm Selection of Parallel Sparse Matrix-Vector Multiplication Is Important"
6. Takahiro Katagiri, Kenji Kise, Hiroki Honda, and Toshitugu Yuba, Proceedings of ACM Computing Frontiers 04, pp. 12--25, Island of Ischia, Italy, 14--16 April 2004 : "Effect of Auto-tuning with User's Knowledge for Numerical Software"
7. 片桐孝洋, 2003年ハイパフォーマンスコンピューティングと計算科学シンポジウム (HPCS2003), 日本科学未来館, 2003年1月20日(月) ~ 1月21日(火), HPCS2003 論文集 (IPSJ Symposium Series Vol. 2003, No. 4), pp. 75--82: 「スーパーコンピュータ環境における Gram-Schmidt 再直交化の性能評価」
8. 片桐孝洋, 吉瀬謙二, 本多弘樹, 弓場敏嗣, 2004年ハイパフォーマンスコンピューティングと計算科学シンポジウム (HPCS2004), 2004年1月15日, 16日, 日本科学未来館みらい CAN ホール (臨海副都心), HPCS2004 論文集, pp. 9--16: 「データ再分散を行う並列 Gram-Schmidt 再直交化」
9. 片桐孝洋, 吉瀬謙二, 本多弘樹, 弓場敏嗣, 2004年先進的計算基盤システムシンポジウム (Symposium on Advanced Computing Systems and Infrastructures (SACSIS), 2004年5月26日(水) ~ 28日(金), 札幌コンベンションセンター, SACSIS2004 論文集, pp. 43--52: 「自動チューニング処理記述用ディレクティブ ABCLibScript の設計と実装」
10. 木下靖夫, 片桐孝洋, 弓場敏嗣, 2005年ハイパフォーマンスコンピューティングと計算科学シンポジウム (HPCS2005), 2005年1月18日, 19日, 東京大学山上会館, HPCS2005 論文集: 「AutoTuned-RB:再帰 BLAS ライブラリの自動チューニング方式」(採録決定)(発表予定)
11. Takahiro Katagiri, Kenji Kise, Hiroki Honda, and Toshitsugu Yuba: 電気通信大学情報システム学研究科技術報告、UEC-IS-2003-3 (13 May, 2003) : "FIBER: A Framework of Installation, Before Execution-invocation, and Run-time Optimization Layers for Auto-tuning Software"
12. 片桐孝洋, 吉瀬謙二, 本多弘樹, 弓場敏嗣: 電気通信大学情報システム学研究科技術報告、UEC-IS-2003-7 (6 November 2003) : 「データ再分散を行う並列 Gram-Schmidt 再直交化」

13. Takahiro Katagiri, Kenji Kise, Hiroki Honda, Toshitsugu Yuba : 電気通信大学情報システム学研究科技術報告、UEC-IS-2003-10 (17 November 2003) : "Effect of Auto-tuning with User's Knowledge for Numerical Software"
14. 片桐孝洋、吉瀬謙二、本多弘樹、弓場敏嗣 : 電気通信大学情報システム学研究科技術報告、UEC-IS-2004-1 (2004年1月27日) : 「自動チューニング処理記述用ディレクティブ ABCLibScript」
15. Takahiro Katagiri, Kenji Kise, Hiroki Honda, Toshitsugu Yuba : 電気通信大学情報システム学研究科技術報告、UEC-IS-2004-7 (30 September 2004) : "ABCLibScript: A Directive to Support Specification of An Auto-tuning Facility for Numerical Software" , Submitted to Parallel Computing (2004)
16. Takahiro Katagiri, Kenji Kise, Hiroki Honda, Toshitsugu Yuba : 電気通信大学情報システム学研究科技術報告、UEC-IS-2004-8 (3rd December 2004) : "ABCLib\_DRSSD: A Parallel Eigensolver with an Auto-tuning Facility" , Submitted to Parallel Computing (2004)

口頭発表 (国際、国内)

1. 片桐孝洋, 2002年 並列処理シンポジウム(JSPP'2002), エポカルつくば, 2002年 5月29日(水) ~ 5月31日(金), JSPP'2002 論文集, pp. 155--156, 「ABC-LIB:自動ブロック化・通信最適化ライブラリの開発」(ポスター発表)
2. 片桐孝洋, 吉瀬謙二, 本多弘樹, 弓場敏嗣, 2003年先進的計算基盤システムシンポジウム (Symposium on Advanced Computing Systems and Infrastructures (SACSIS), 2003年5月28日(水) ~ 30日(金)、学術総合センター会議場, SACSIS2003 論文集, pp. 159--160: 「実行起動前最適化層を有する自動チューニングソフトウェア構成方式の提案」
3. 片桐孝洋, 吉瀬謙二, 本多弘樹, 弓場敏嗣, 2004年 ハイパフォーマンスコンピューティングと計算科学シンポジウム (HPCS2004), 2004年1月15日, 16日, 日本科学未来館みらい CAN ホール (臨海副都心), HPCS2004 論文集, pp. 77--78: 「並列実行環境に依存しない高性能数値計算ライブラリ構築にむけて」(ポスター発表)
4. 片桐孝洋, SWoPP'2002(並列 / 分散 / 協調処理に関する『湯布院』サマー・ワークショップ 2002年 8月21日(水)--23日(金)), 情報処理学会研究報告 2002-HPC-91, pp. 43--48 : 「並列固有ベクトル計算における強制対角ブロック化の効果」
5. 片桐孝洋, 吉瀬謙二, 本多弘樹, 弓場敏嗣, 第94回 ハイパフォーマンスコンピューティング (HPC) 研究会, 平成 15年 6月 13日 (金) 13:00-16:45, 情報処理学会研究報告 2003-HPC-94, pp. 1--6 : 「FIBER:汎用的な自動チューニング機能の付加を支援するソフトウェア構成方式」
6. 木下靖夫, 片桐孝洋, 本多弘樹, 弓場敏嗣, 電子情報通信学会総合大会, 東京工業大学大

- 岡山キャンパス, 平成 16 年 3 月 22 日 (月), D-3-10, pp. 29 : 「SMP 上での BLAS ライブラリ用自動チューニング機構の設計と実装」
7. 石井良規, 片桐孝洋, 本多弘樹, 弓場敏嗣, 電子情報通信学会総合大会, 東京工業大学大岡山キャンパス, 平成 16 年 3 月 22 日 (月), D-3-9, pp. 28 : 「Autopilot を用いた疎行列ソルバにおける実行時自動チューニング機構の設計」
  8. 羅柳, 片桐孝洋, 本多弘樹, 弓場敏嗣, 第 32 回分散システム / インターネット運用技術研究発表会研究報告, 千葉大学西千葉キャンパス, 2004-DSM-32, pp. 31--36, 平成 16 年 3 月 29 日 (月), 「ログ情報に基づく Grid 上での MPI アプリケーションにおけるタスク割り当て手法の提案とその評価」
  9. 片桐孝洋, 吉瀬謙二, 本多弘樹, 弓場敏嗣, SWoPP' 2004 (並列 / 分散 / 協調処理に関する『青森』サマー・ワークショップ 2004 年 7 月 30 日 (水)--8 月 1 日 (金)), 情報処理学会研究報告 2004-EVA-10, pp. 19--24, (2004) : 「ユーザ知識を活用するソフトウェア自動チューニングについて」
  10. 木下靖夫, 片桐孝洋, 弓場敏嗣, SWoPP' 2004 (並列 / 分散 / 協調処理に関する『青森』サマー・ワークショップ 2004 年 7 月 30 日 (水)--8 月 1 日 (金)), 情報処理学会研究報告 2004-HPC-99, pp. 187--192, (2004) : 「SMP 上における再帰 BLAS ライブラリの自動チューニング方式」
  11. 片桐孝洋, 日本応用数理学会 2004 年度年会, オーガナイズドセッション : 数値線形代数, 2004 年 9 月 16 日 (木) ~ 18 日 (土), 中央大学後楽園キャンパス, 応用数理学会 2004 年度年会予稿集, pp. 214-215, 「固有値ソルバの並列化とその性能」
  12. Takahiro Katagiri, Kenji Kise, Hiroki Honda, Toshitsugu Yuba, Eleventh SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (PP04), Hyatt at Fisherman's Wharf, San Francisco, CA, USA, Thursday, February 26, 2004, Organized Session of "MS37 Portable Parallel Numerical Libraries for Various Types of Architectures" : "Towards Performance Portability Framework for Numerical Libraries"
  13. Takahiro Katagiri, Kenji Kise, Hiroki Honda, Toshitsugu Yuba, Eleventh SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (PP04), Hyatt at Fisherman's Wharf, San Francisco, CA, USA, Thursday, February 26, 2004, Poster Session: "FIBER: Generalized Framework for Numerical Software"
  14. 片桐孝洋, 第 464 回電気通信大学数値解析研究会, 2004 年 6 月 25 日 (金), 「ソフトウェア自動チューニングー固有値ソルバへの適用とその可能性ー」
  15. 石井良規, 片桐孝洋, 本多弘樹, 2005 年 ハイパフォーマンスコンピューティングと計算科学シンポジウム (HPCS 2005) : 「RA0-SS: 疎行列ソルバにおける実行時自動チューニング機構」、ポスター発表 (予定)

## 特許

1. 片桐孝洋：プログラム、記録媒体およびコンピュータ、日本国特許出願、  
特願 2003-022792（平成 15 年 1 月 30 日）  
特開 2004-234393（平成 16 年 8 月 19 日）
2. 片桐孝洋：計算装置、計算方法、プログラムおよび記録媒体、日本国特許出願、  
特願 2003-092592（平成 15 年 3 月 28 日）
3. 片桐孝洋：計算装置、計算方法、プログラムおよび記録媒体、日本国特許出願、  
特願 2003-149701（平成 15 年 5 月 27 日）  
特願 2003-92592 の国内優先権出願
4. 片桐孝洋：計算処理方法、そのプログラム、データ再分散機構、計算処理装置、  
日本国特許出願、特願 2003-372051（平成 15 年 10 月 31 日）

## ソフトウェア

1. 片桐孝洋：自動チューニング機能付き並列数値計算ライブラリ ABCLib\_DRSSSED  
(Fortran90 と MPI-1 で約 30,000 行) (2004)
2. 片桐孝洋：自動チューニング機構付加支援ディレクティブ ABCLibScript 用プリプロセッサ  
ABCLibCodeGen (Fortran90 用) (C++ で約 10,000 行) (2004)
3. 片桐孝洋：自動チューニング処理閲覧用ビジュアライザ VizABCLib (2004)
4. 片桐孝洋：ABCLib\_DRSSSED ver. 1.00 マニュアル、48 ページ (2004 年 10 月)
5. 片桐孝洋：ABCLibScript ver. 1.00 利用の手引き、41 ページ (2004 年 10 月)
6. 片桐孝洋：ABCLib Project オンラインマニュアル、  
<http://www.abc-lib.org/online/abclib.htm> (2004 年 10 月公開)
7. 片桐孝洋：ABCLib\_DRSSSED Manual version1.00、53 ページ (2004 年 12 月) (英語)
8. 片桐孝洋：ABCLibScript User's Guide version1.00、47 ページ (2004 年 12 月) (英語)

## 著書

1. 片桐孝洋著：「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」、慧文社、2004 年 12 月 3 日初版第一刷発行、ISBN4-905849-18-7、本文 163 ページ

以 上