

# 戦略的創造研究推進事業

－CRESTタイプ－

研究領域「情報社会を支える新しい  
高性能情報処理技術」

研究領域事後評価用資料

平成21年1月15日

## 1. 戦略目標

「新しい原理による高速大容量情報処理技術の構築」

現行のコンピュータをベースとした情報処理技術は、ハードウェア・ソフトウェア共に飛躍的な進歩を遂げ、20 世紀における情報革命として社会の変革に多大な役割を果たしてきた。しかしながら、デバイスの微細化やアルゴリズム上の限界によりこれまでのペースでの性能・容量の向上は望めなくなっている。

一方、コミュニケーションの多様化に伴う通信・計算容量の増大や、立体映像データ処理や複雑系の解析を行うための高速演算の必要性等、高速大容量情報処理技術に対する社会的ニーズは依然として高く、これらのニーズに応じた技術の確立が喫緊の課題となっている。

このため、戦略目標として「新しい原理による高速大容量情報処理技術の構築」を設定し、量子コンピュータ、分子コンピュータ、ニューロコンピュータ等を含む新しい原理に基づく計算機構の探索を行うとともに、ノイマン型コンピュータにおいても全く新しい技術を導入し、新デバイスや通信技術も含めた高速大容量情報処理環境を構築するための要素技術を探求・確立することを目指す。

なお、本戦略目標の下で行われることが想定される研究としては、例えば、量子計算理論及び量子システムの探索・開発、生体工学と情報処理科学による新規原理・システム等の探索・開発等が考えられる。

## 2. 研究領域

「情報社会を支える新しい高性能情報処理技術」（平成 13 年度発足）

この研究領域は、高速大容量情報処理に不可欠な新しい情報処理システムの実現に向け、その技術についてのハードウェア、ソフトウェアの研究を対象とする。

具体的には、量子コンピュータや分子コンピュータ等を含む新しい原理に基づく情報処理システム、従来型のコンピュータの性能を新しい時代に合わせて飛躍的に向上させる要素技術、従来システムの安全性や信頼性向上のための技術、大負荷に耐えられる大容量システム技術等に関する研究が含まれる。

この領域募集・選考に当たっての考えかたとしては、以下のものを挙げた。

現在は情報の果たす役割の高い社会であるが、今後はますますその傾向が強まることが予想される。特にその利用者は一部の人に限られずあらゆる人々である。また、扱う情報の種類も文章や数値だけに留まらず、音、画像など様々なものがあり、高速インターネットの発展により、それらを迅速にやり取り可能である。従って、情報処理技術に対する要求も従来になく幅広く、また

厳しいものがある。新たな科学技術研究の必須ツールとしての超高速性、膨大な情報を蓄積処理する大容量性、あらゆる人々が情報システムに頼って生活するための信頼性、人々が安心してシステムを使えるための安全性、変化する処理需要や機器に対応し易い適応性、生涯に涉って使うことを可能とする継続性など様々な要求がある。

この研究領域は、このような要求を満たすための情報処理技術を対象としており、特に、量子コンピューティングや分子コンピューティングなどのように、全く新しい原理に基づく処理技術の他、従来のコンピュータシステムを新たな時代の要求に合わせて変革するための抜本的な要素技術を対象としている。

これは基礎研究であるので、研究後5年間で直ぐに実用に供されるものを必ずしも要求してはいないが、5年後に所期の研究計画が達成され、その技術の有用性がかなり明確になるものでありたい。

### 3. 研究総括

氏名 田中 英彦

(所属 情報セキュリティ大学院大学 役職 情報セキュリティ研究科長・教授)

#### 4. 採択課題・研究費

(百万円)

採択年度	研究代表者	研究終了時の 所属・役職	研究課題	研究費*)
平成 13年度	伊藤 公平	慶應義塾大学 理工学部 助教授	全シリコン量子コンピュータの実現	617
	井上 光輝	豊橋技術科学大学 研究専任教授	超高速ペタバイト情報ストレージ	623
	中島 浩	京都大学 学術情報メディアセンター 教授	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	421
	萩谷 昌己	東京大学 大学院情報理工学系研究科 教授	多相的分子インタラクションに基づく大容量メモリの構築	295
平成 14年度	木下 佳樹	(独)産業技術総合研究所 システム検証研究センター 研究センター長	検証における記述量爆発問題の構造変換による解決	410
	坂井 修一	東京大学 大学院情報理工学系研究科 教授	ディペンダブル情報処理基盤	554
	寅市 和男	筑波大学 先端学際領域研究センター 特任教授	フルーエンシ情報理論にもとづくマルチメディアコンテンツ記述形式	298
	武藤 俊一	北海道大学 大学院工学研究科 教授	量子情報処理ネットワーク要素技術	577
平成 15年度	加藤 和彦	筑波大学 大学院システム情報工学研究科 教授	自律連合型基盤システムの構築	462
	松井 俊浩	(独)産業技術総合研究所 デジタルヒューマン研究センター 副センター長	ヒューマノイドのための実時間分散情報処理	809
	横田 治夫	東京工業大学 学術国際情報センター教授	ディペンダブルで高性能な先進ストレージシステム	364
			<b>総研究費</b>	5430

\*) 平成 15 年度研究課題については平成 20 年度末までの見込み総額。他の研究課題については、実使用総額。

井上チームの「超高速ペタバイト情報ストレージ」研究は、研究開始から3年間経過した中間評価の時点で、世界で初めて回転記録媒体上でのホログラムの記録再生に成功するという成果をあげたが、その時点で既に、当初予定した5年間の研究費を殆ど使い尽くしていた。基礎研究と開発とが同居する研究では研究計画が大きく変わることは常であり、この研究でも、当初困難に直面したコリニア方式の問題点を乗り越えた後、急速に研究の方向が明確になり、その時点で研究費の迅速な投入が必要になったためである。その後の研究方針として、井上チームからは基礎研究分野の拡大を要望されたが、それは行わず、得られた成果をリファインすることに絞って当初目標を達成する方向を選択し、その後の2年間で1.5億円追加という予算修正をした。その結果、最終成果としては、当初目標であった1TB、1Gbpsのプロトタイプの完成には到らなかったものの、方式的には確実にその見通しをつけることができ、更に、企業との共同研究により実用化が見える所までシステム化をおこなうことができた。この成果は、CREST 12周年記念シンポジウムでも、CRESTの代表的成果として取り上げられた。

また、松井チーム「ヒューマノイドのための実時間分散情報処理」においては、大規模で先進的なLSIチップ作成と高度な高密度実装SiP開発とを行ったが、そのCADシステムとして各種マクロ技術情報(IP)の購入が必要で、また、ハードウェアと併行したソフトウェア開発を可能にするためにはそのツールを導入する必要がある、それには当初の予算では不足であることが判明した。そのための予算増強を検討し、結果として更に6200万円を投入した。その結果、最終年度、最後の時点でチップを稼働させることが出来た。それを組み入れての完全なデモまでには至らなかったが、稼働させることにより、方式の実現可能性を明確にすることができた。

## 5. 研究総括のねらい

実現を狙った事項：情報関係のプロジェクトが、この領域発足当時（平成13年）非常に少なかったので、情報関係の中で絞って何をやるかというよりも、情報関係領域のベースを強化するという事に重みを置き、そのベース科学技術を格段に進めることに傾注するという事を狙った。すなわち、情報社会を支える情報科学技術の中で、今後に要請されるさまざまな事項を解決する上で、格段に影響をもたらす可能性のあるものを選び育てることを考えた。

従って、情報処理システムの速度を格段に向上させ、処理のあり方まで変える可能性のある量子コンピュータや、分子コンピュータなどの基礎研究を行うということの必要性は当然としても、これらだけに集中したプロジェクトとすると、他に現実的に非常に重要な問題を扱うことができなくなる。そこで、より広く従来技術の延長線上にある技術をも対象とすることとし、今後に求められるさまざまな要請を広く取り入れ、高速性、信頼性、大容量性、安全性、などを抜本的に向上させる科学技術の展開を目指した。すなわち、高速性は従来よく取り上げられてきたが、他の要請は、製品として取り上げられることはあっても、それが基礎研究として取り上げられるこ

とは少なかった。しかし、これらの要請は、今、非常に重要なポイントであることが認められつつある。

一例を挙げれば、パソコンやインターネットからなる情報ツールに求められるものは、今後、単なる処理や伝達の高速性ではなく、データが信頼でき改竄されてはならず、それをベースに処理した結果が正しいことを信じることができるとともに、必要とする如何なる時でもその情報ツールが望みだけの容量で使うことができ、更に、自分の大切な情報が壊れたり失われたりする心配をする必要は無く、安心して自分の仕事や活動に使いこなすことができるという性質である。こういう性質を情報機器やシステムが持ち得て初めて、人々は自分の知的創造の仕事に没頭できる。地味ではあるが重要なポイントである。これをディペンダビリティと呼ぶが、わが国に合った性質でもあり、これを抜本的に強化発展させることで、世界に売れるわが国の技術とすることも可能になるのではないかと考えた。

また、この領域運営にあたっては、アドバイザーのグループが各研究の進め方に関して各プロジェクトリーダーの知恵袋として十分に機能することを狙った。研究を進めている途中で研究者が直面する障害・問題点をできるだけ早急に把握し、それを一緒になって、乗り越える方策や方向を考えるのである。直接それに携わっている研究者は、ともすれば直面する問題のみに頭がいっぱいになり大きな方向性を見失い勝ちである。そのような時、少し離れた立場にいる経験の豊富なアドバイザーの意見は大変有用である。

予算の配分は、各研究の中核成果を達成するのに必要などころを見極め、その実現に必要な場合はかなりな増強も行い、しっかりサポートすることを考えた。

## 6. 選考について

課題採択の方針は、

- (1) 大きなインパクトのある課題であること
  - (2) そのインパクトが今後の方向性に対し核心を突いたものであること
  - (3) 目標を達成するための十分なアイデア、研究パワー、を持っていること
  - (4) この領域の基礎研究として重要な課題であること
  - (5) 他に十分な予算を得られるファンドを持っていないこと
- などである。

選考の結果は以下の通りである。

- ① 量子コンピュータ： 2 課題、全固体量子計算、量子中継器技術
- ② 分子コンピュータ： 1 課題、大容量分子記憶
- ③ 情報システム： 3 課題、大規模システム技術、ディペンダブル基盤、先進ストレージ
- ④ 分散処理： 1 課題、自立連合型基盤システム
- ⑤ 光ディスク： 1 課題、大規模ホログラムディスク記憶装置

- ⑥ メディアエンコーディング： 1 課題、マルチメディア高品質符号化技術
- ⑦ 形式的検証： 1 課題、誤りの無いソフトウェア技術としての検証の問題点の解決
- ⑧ 実時間処理基盤： 1 課題、スケーラブルでロボット構成の情報処理基盤技術

このように、領域自体としては、結果的にかなり広い分野を含むことになった。

## 7. 領域アドバイザーについて

領域アドバイザー名	終了時の所属	役職	任期
大蒔 和仁	(独) 産業技術総合研究所	研究コーディネーター	平成 13 年 12 月～ 平成 21 年 3 月
小関 健	上智大学	教授	同上
喜連川 優	東京大学	教授	同上
小柳 光正	東北大学	教授	同上
杉江 衛	法政大学	教授	同上
三浦 謙一	情報・システム研究機構 国立情報学研究所	教授	同上
村岡 洋一	早稲田大学	教授	同上

アドバイザーの選定に当たっては、この広い領域をカバーできるように、ポイントとなる専門を備えたそれぞれの第一人者で、過去経験の豊富な見識ある人々を選ぶことを考えた。また、大学の研究者のみならず、企業経験のある人々の視点も重要なので、そういう観点からも選考（アドバイザーの内、小関、小柳、杉江、三浦各氏は、長期に渉る企業経験がある）を行った。

また、課題評価の公正さをより一層高めること、および研究を取り巻く諸情勢に関する幅広い視野を評価に取り入れること等を目的に、産業界の現役のメンバを含む外部評価者を選考して、平成 17 年より評価に参加していただいた。更に、中間領域評価での意見を取り入れて、後期はメンバ数を増強し、より多くのメンバにご協力を頂いた。

外部評価委者	終了時の所属	役職	任期
井筒 雅之	独立行政法人 情報通信研究機構	高級研究員	伊藤チームと武藤チーム担当 平成 17 年 1 月～

			平成 20 年 3 月
菅谷 寿鴻	(株) 東芝デジタルメディアネットワーク社 HD DVD 事業統括部 光ディスク開発部	技術顧問	井上チーム担当 平成 17 年 1 月～ 平成 19 年 3 月
富田眞治	京都大学大学院情報学研究科	教授	中島チームと坂井 チーム担当 平成 17 年 4 月～ 平成 20 年 3 月
青木孝文	東北大学 大学院情報科学研究科	教授	萩谷チーム担当 平成 18 年 4 月～ 平成 19 年 3 月
二木厚吉	北陸先端科学技術大学院 大学 情報科学研究科	教授	木下チーム担当 平成 17 年 4 月～ 平成 20 年 3 月
天野吉和	トヨタ自動車株式会社	常務役員	木下チーム担当 平成 19 年 4 月～ 平成 20 年 3 月
林弘	株式会社富士通研究所	常務取締役	坂井チーム担当 平成 19 年 4 月～ 平成 20 年 3 月
高柳英明	東京理科大学理学部第一 部応用物理学科	教授	武藤チーム担当 平成 19 年 4 月～ 平成 20 年 3 月
中嶋正之	東京工業大学大学院情報 理工学研究科	教授	寅市チーム担当 平成 17 年 4 月～ 平成 20 年 3 月
渡邊 敏明	(株) 東芝研究開発センター マルチメディアラボ ラトリー	研究主幹	寅市チーム担当 平成 19 年 4 月～ 平成 20 年 3 月
岩野和生	日本アイビーエム株式会 社大和ソフトウェア開発 研究所	所長	加藤チーム担当 平成 18 年 4 月～平 成 21 年 3 月

後藤敏	早稲田大学大学院情報生産システム研究科	教授	松井チーム担当 平成18年4月～平成21年3月
小山俊彦	(株)デンソーウェーブ 制御システム事業部技術企画部	部長	松井チーム担当 平成18年4月～平成21年3月
山本 彰	(株)日立製作所システム開発研究所情報プラットフォーム研究センタ	センタ長	横田チーム担当 平成18年4月～平成21年3月
木村康則	(株)富士通研究所 ペタスケールコンピューティング推進室	室長	横田チーム担当 平成18年4月～平成21年3月

## 8. 研究領域の運営について

以下のような基本方針の下、運営を行った。

- (1) 半年に一回の報告書提出及び口頭報告と議論、更に研究期間中に必ず各研究拠点の現地訪問を実施。
- (2) 研究達成の問題点に直面したとき、それを早急に把握し、深く内容に立ち入った分析や議論を行い、手法の転換、他所との協力、予算の追加、など、様々な観点からの解決策をアドバイザーグループと一緒に考える。
- (3) 各所の人雇用には、問題発生時の迅速な対応が取られているかのチェック。
- (4) 国際会議などの外部発表に当たっては、その前に特許などの知的財産権の提出を行ったかどうかの確認。
- (5) 企業化に関連が深い成果が出た場合は、積極的に企業とコンタクトを取ることを薦めたり、関連企業を紹介する。

### 研究テーマの大きな変更について

それぞれのグループのテーマについては、まずグループの基本アイデアをアドバイザーが深く理解するところから始めた。その上で計画の進み具合や問題点を共有し、解決策を考えるという形を取った。中でも大きな方針変更の検討例は、光ディスク、全固体量子コンピュータ、量子中継器、ロボット向け実時間処理基盤の場合がそうであった。

#### 例1 光ディスクの研究開発

研究途中で目標の記録密度や転送速度の見通しが立たない状況に至り、研究グループ側は様々な変更のアイデアを模索したが、アドバイザーグループは、研究のシステムティックな分析をアド

バイスし、結果として元のアイデアに沿って、目標が達成された。

#### 例2 全固体量子コンピュータの研究

シリコン原子の量子状態を検知する方式の問題点により、リンを使った検知方式に転換した。また、コンピュータとして実現することを想定した場合の検討をアドバイスした結果、この方式は世界の他方式に比して、量子状態保持時間が非常に長く、記憶素子としてのユニークな位置づけが明らかになった。

#### 例3 量子中継器の研究

要素技術としては様々なものが出ているが、途中で利用材料を変更したこともあって、最終的に中継器の完全なデモを行うことが期間内には難しい状況になり、その最終ターゲットを要素技術の研究開発に変更した。

#### 例4 ロボット向け実時間処理基盤の研究

LSI チップの実現と微小チップ実装 SiP の開発に時間がかかり、完全なデモが困難となった。そこで、当初試作を予定していた、より高度な高性能チップの実装を中止し、ベーシック版チップの完成に注力して稼動に成功し、実時間処理基盤の具体的可能性を示すことが出来た。

### 研究の方向性のアドバイス

中には、当初の研究目標を時代の変化に合わせて変更することをアドバイスした研究グループも存在した。以下がその例である。

#### 例1 高品質符号化方式の研究

音声、グラフィクス、画像それぞれの符号化方式を確立することのみならず、入力に応じて方式を自動的に適応させる方式の追加研究をおこない、実用性を増した。

#### 例2 分子メモリの研究

分子メモリを多次元拡大するアイデアを試みたとき、微小バブルをレーザ光でマニピュレートするグループとの連携強化をアドバイスし、それによって2次元平面へのメモリ配置方式の確立と、ナノデバイス技術分野の開発に繋がった。

#### 例3 先進ストレージの研究

映像などのストリーム信号を効率よく記憶する方式のみならず、時代の要請に応じてXML データの効率的記憶と高速検索を可能にする方式へと研究を拡大した。

### 予算問題の対応

4 で述べたように、「超高速ペタバイト情報ストレージ」では、中間時点で予算の更なる投入を行い、方式開発に成功した。また、「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」グループのように、大規模な試作をおこなうため、利用可能プロセッサチップの登場時期に応じた予算利用のタイミングを調整する必要があった研究グループや、ロボット実時間処理基盤グループのように、新しいCAD 技術を使うために予定以上の予算が必要になるとともに、試作LSI チップ開発遅延の影響低減のためのソフトウェア開発ツール導入などによって予

算が大幅に増加した研究グループがあった。これには、領域内でのやりくりや、JST 本部に追加のお願いをして可能にして頂いた。その結果、前者では最終システムが完成し、後者では最終年度でプロセッサが稼動して、提案方式の実現性を明確に示すことができた。

また、中間評価において、外部評価委員の強化という意見をいただいたが、それに対して、後期からは前表に示すように多くの外部専門家にご協力願ひ、研究のアドバイスに参加していただいた。その結果、各グループの終結に向けて、よいまとまりを得ることができたと思う。

一方、領域が広がった結果、似た種類の研究を行う複数のグループが存在せず、グループ間の切磋琢磨が難しくなり勝ちな分野も存在する。これは特に、分子メモリやロボットグループでそうであるが、分子メモリは元々、このグループしか実質的にわが国には存在しないし、ロボットグループは実時間分散型情報処理を中核としていたので、この領域の他のグループとは内容が非常に近い分野でもあって余り問題はなかった。逆に、ロボット研究を情報処理基盤の領域で行うこととなり、結果的に世界で大変ユニークな研究を進めることができたと思われる。これらのグループに対しては、世界に向けての競争という意味からアドバイザーが定期的にコメントする体制で支援した。アドバイザーは、詳細に捉われず、より広い観点からその研究を見ることができたので、フランクな批判が容易であるという面もあったと思う。

## 9. 研究を実施した結果と所見

研究総括の狙いに対する研究成果の達成度

この領域で得られた成果の中味を簡潔に述べれば、以下のようになる。

- (1) 全固体量子演算方式実現の可能性を実証
- (2) 大容量ホログラム記憶装置の実現
- (3) スーパーコンピュータ構成技術の実証
- (4) 分子メモリの実現法とその限界の提示
- (5) 形式的検証法の実用化にむけた新展開を提示
- (6) ディペンダブル情報処理基盤の確立
- (7) 音・図・画像など諸メディアの高品質符号化方式の確立
- (8) 量子中継器向け要素技術の構築
- (9) インターネット向け高信頼システム構築方式の提案と要素ソフトウェアの開発
- (10) ロボット向け実時間処理用プロセッサと分散処理方式の確立
- (11) 今後のディペンダブルで自律的なディスクストレージ構築法の確立

研究総括の狙いとしての、次世代の情報社会を担う抜本的な基盤技術という目標に対して、これらはそれぞれ、情報処理における今後の基盤技術としてキーとなる技術であると考えられる。これらを研究フェーズで分類すれば、実用性も含んでの技術確立まで達成したという意味では、上

の2, 4, 7, 11 がそれに相当する。新しい技術の方向性を樹立し具体的にそれを提示したと考えられるものは、3, 5, 6, 10 であり、技術の可能性を明らかにしたのは、1, 8, 9 であると見ることが出来る。

更に、この領域では、トピックス的なテーマに留まらず、地味ではあるが情報処理において重要であり、今後のわが国のコア技術として世界に展開してゆくことが期待される技術が含まれている。これらは、いたずらに流行を追わず、地味であるがゆえに研究テーマとして取り上げられ難いものであるが、産業界に取っては基盤となる大切な技術である。ディペンダブル情報処理技術がそれで、これに関わる研究としては次のものがある。

- (1) 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
- (2) 検証における記述量爆発問題の構造変換による解決
- (3) ディペンダブル情報処理基盤
- (4) 自律連合型基盤システムの構築
- (5) ディペンダブルで高性能な先進ストレージシステム

これらを機能的に述べれば、大規模なスーパーコンピュータの高信頼化と性能予測技術(1)、形式的検証によるソフトウェアバグの完全排除(2)、コンピュータシステム構成の各階層（プロセッサ、OS、ミドルソフト、応用）におけるディペンダブル技術体系(3)、分散処理における高信頼化技術(4)、大規模ストレージ構成におけるディペンダブル技術(5)であり、並べてみると結果として必要な分野をかなり網羅している。もう一つの特徴は、これらすべてが実際のシステム構築を行っており、その上での成果提案となっていて、結果に説得性をもたらしていることである。最近の大学における研究が、応用指向となって情報処理の基盤技術研究が減るとともに、実際にしっかりとしたハードウェアやソフトウェア構築を行う研究が少なくなっている状況に鑑み、これらの研究は、人材育成の面でもとても貴重なものである。

従って、5 で述べた、当初目的としていた研究総括の狙い、

情報関係の中で絞って何をやるかというよりも、情報関係領域のベースを強化するという事に重みを置き、そのベース科学技術を格段に進めることに傾注するという事を狙った。すなわち、情報社会を支える情報科学技術の中で、今後に要請されるさまざまな事項を解決する上で、格段に影響をもたらす可能性のあるものを選び育てることを考えた。

に関しては、かなり実現することが出来たのではないかと考える。

また、具体的に特筆すべき研究成果を述べれば以下のようなになる。

革新技术の創成および展開という意味では、まず、以下の研究が挙げられる。

- 多相的分子インタラクションに基づく大容量メモリの構築  
分子メモリの実現法とその限界を明らかにし、それをを用いて理想的な認証技術となり得

る DNA インキを開発するとともに、今後のナノデバイス技術を開発した。

- 超低電力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  
この中で、今後の超大規模スーパーコンピュータを実現する場合に、応用プログラムの実効性能を精度よく評価する方式を開発した。
- 全シリコン量子素子  
量子素子として、量子状態の維持時間が、室温で 25 秒という世界の研究結果に比して数桁大きい優れた性能を達成し、メモリとしての特長を明らかにした。
- ディペンダブル情報処理基盤  
情報処理システムを構成する場合の高信頼化と高安全性を抜本的に改善するために、プロセッサ、OS、ミドルソフトウェア、応用の各レベルで設けるべき機能を明らかにした。
- ディペンダブルで高性能な先進ストレージシステム  
大規模で高信頼、且つ管理が自動化されたストレージシステムの構成法を明らかにし、試作によって方式を確立した。
- ヒューマノイドのための実時間分散情報処理  
次世代ロボット実現のための重要な基盤である抜本的な実時間処理プロセッサと実時間 OS を実現するとともに、分散処理基盤の通信リンク方式を確立し世界標準化に成功した。
- WWW プログラムの形式的検証手法の提案  
自律連合型基盤システムの構築グループの中で生み出された新規な技術であり、Web 用スクリプト言語を理論的な手法で解析する研究の世界的な先駆けとなった。

同じく革新技術の創成ではあるが、企業との共同研究に発展したものとしては次の研究が挙げられる。

- 超高速ペタバイト情報ストレージ  
ブルーレイディスクの次世代光ディスクには TB 級の容量が求められるが、ホログラフィを用いて、企業との共同研究で CD サイズのディスクに 1.3TB 以上の容量を実現し、コリアホログラフィの国際標準化も達成し、商用化にむけて展開しつつある。更に、これは文部科学省キーテクノロジー事業として、産学官連携でホログラムメモリの実用化と、次世代コリアホログラムメモリとして超光情報メモリの基礎開発を実施している。
- フルーエンシ情報理論にもとづくマルチメディアコンテンツ記述形式  
次世代の優れた符号化技術提案であるが、音用機器としては既に製品化されている。さらに CREST の研究成果発のベンチャー企業として、株式会社フルーエンシ研究所が平成 19 年に設立されている。
- 全シリコン量子コンピュータの実現  
量子コンピュータ用に開発した原子レベルシリコン同位体積層技術が、シリコン IC プロセスシミュレータの性能向上に向けたデータ取得に最適な構造であることが、産業界からのアドバイスで明らかになった。その応用に向けて株式会社半導体先端テクノロジーズと共同で「科学技術振興機構・産学共同シーズイノベーション化事業育成ステージ」

に課題名「半導体ナノ CMOS シミュレータの開発」で応募した結果、平成 18 年～21 年度の期間で採択されている。

- セキュア VM の開発

自律連合型基盤システムの構築グループの前期における活動が評価され、このグループの持っている仮想マシン (VM) 開発能力が評価され、平成 18 年度文部科学省科学技術振興調整費重要課題解決型研究に「高セキュリティ機能を実現する次世代 OS 環境の開発」という研究題目で採択されて、VM モニタ開発中である。総務省、経済産業省、民間企業 (日立製作所、NEC、富士通、NTT データ) からの支援・協力も受けている。また、我が国の研究基盤強化に関連して、研究者集団の育成・強化、ネットワーク等の形成に寄与したものとしては、次のものがある。

- 検証における記述量爆発問題の構造変換による解決

このプロジェクトに大きく影響され、この研究グループをベースに産総研にシステム検証研究センターが設立された。これは、わが国における形式技法の初の研究拠点であり、この分野発展の重要な組織となり、自動車産業、法定計算など産学官にまたがる広い活動をおこなうものに発展している。また、最近ソフトウェアの脆弱性を原因とするシステム事故が頻発し、また、安全性への要求が国際的にも高まったこともあって、現在は形式技法の存在と重要性が広く知られるところとなり、IPA ソフトウェアエンジニアリングセンター、北陸先端科学技術大学安心電子社会研究センターなどが開始されている。

また、このプロジェクトをベースに、モデル検査技法の技術者向け研修コースが開発され、その一部がノウハウ化されるとともに、IP が有料で産業に利用されている。この結果、産業界への検証技術の啓蒙に寄与し、また学会においてもこの分野を活性化することに貢献した。

従って、今後に向けて、既に商用化が進んでいるものは超高速ペタバイトストレージがあり、ブルーレイの次世代として期待される。メガスケールコンピューティングの提案プロセッサ方式は既に利用されている。また、フルエンシ情報理論によるマルチメディアコンテンツ記述形式も実用化が進みつつある。分子メモリにおける DNA インキは、需要があれば直ぐにでも商用化可能な理想的な認証技術である。先進ストレージシステムも、方式は確立しており、後は商用化に向けての作業が残されている状況にある。

ディペンダブル情報処理基盤は、各コンピュータベンダにおいて、基盤技術として広く使われてゆくであろうし、実時間処理基盤も、今後のロボットの研究開発で必須の技術として使われるであろう。全シリコン量子コンピュータ、量子中継器の技術は、今後の量子コンピュータや量子通信の分野で基礎技術として重要な位置を占める可能性がある。形式的検証は前述のとおり、今後の実利用に向けて発展している。

これらの貢献を、社会や産業における寄与として見れば次のようにまとめられる。

- (1) 安心・安全な社会実現の一翼を担う情報処理の基盤技術を構築した。
- (2) 光ディスクの次世代技術や、高精細な符号化技術、そして今後のロボット処理の基盤技術を構築した。

## 10. 総合所見

研究領域としての成果は、以下のようにまとめられる。

- (1) 情報処理技術の抜本的な基礎研究として、分子メモリの可能性と限界を明らかにするとともに、全固体量子コンピュータの要素技術と量子中継技術の要素技術を構築した。
- (2) 今後の情報処理の基盤となる重要なコア技術として、ディペンダブル情報処理技術を、プロセッサ、ストレージ、大規模構成技術、分散処理技術、形式的検証という面から明らかにし構築した。
- (3) 個別の技術として、次世代大容量ホログラムディスク方式を世界で初めて開発に成功し、高性能なマルチメディア符号化方式を確立するとともに、次世代ロボットの基盤である抜本的な実時間処理基盤技術を確立した。

研究領域のマネジメントに関しては、各研究グループで直面した大きな問題点をアドバイザーメンバとともに共有し乗り越えるという形を取ったが、それには概ね成功したと考えられる。そうしなければ失敗に終わったであろう研究も存在する。しかし、中には、研究の進め方に関して、研究代表とアドバイザーとの意見が対立する場合もあったが、長い議論を通して落ち着いた。

また、基礎研究の役割として単に可能性を見せるという状態から、使われるために既存技術との詳細比較や置き換えに至る問題をクリアするというステップ迄、そのギャップを埋める努力は大きなものがある。特に、情報処理の技術は、既存の技術がデファクトとなっているものが多く、そこへ新技術を導入するには、単なる技術の優秀さだけに留まらない経済原理が存在する。この原理に配慮し過ぎると新たな挑戦が生まれず、考慮しないと単なるアイデアに留まる。最近では時代が大きく変わろうとしている。このような時代では、多くの可能性を研究開発によって見出し、国として変化に応じる即応体制を組んでおくというのも一案であろう。

本領域を設定した意義については、次のようにまとめられる。すなわち、あらゆる活動や生活の基盤となっている情報処理技術領域において、今後、従来からの延長では考えることができない新たな利用形態を支え、新たな社会を切り開いてゆくための基盤となり得るコア技術を開発した。ディペンダブル情報処理基盤、実時間処理基盤などがそれに当たる。また、大容量光ディスクや高精度符号化技術などは商用化が近い所まで達成できている。これらを通して、世界に売り出し

てゆくべきわが国の特質に適合したユニークなブランドとしての産業の方向性を示すことができたのではないかと考える。

基礎科学技術への貢献という意味では、分子メモリの構築技術を確立し新たな分野を作り上げることに成功するとともに、量子コンピューティングにおける全固体素子の実現性を与え、量子中継器のコア技術を構築した。更に、従来、単なる理論でしかなかった形式的検証の技術を実用化するための方向性を与えたことは、今後益々重要となるバグの無いソフトウェア開発方法論への大きな足がかりを与えるものである。

研究領域の設定について、情報の領域には少し特徴があり、それを考慮した扱いが必要であることを述べたい。CRESTは、基礎研究として、ある限られた領域での新しい原理や革新的技術を探ることが中心に据えられることが多いと思われるが、情報科学技術領域の内、デバイス研究分野は比較的それに馴染みやすいものの、ソフトウェアやシステム開発が主要な役割を占める分野は、それに必ずしも馴染みやすいとは言い難いということである。それは、この分野には以下の特徴があることに起因すると考える。

- (1) ソフトウェアや考え方が重要な位置を占めること
- (2) 情報システム研究は時間と手間を要すること
- (3) あらゆる領域と関係し、その活動を支える分野であること
- (4) 寡占の力が大きく働く分野であること

(1)の特質は、その研究内容が人の考え方を主体とする特徴上、「従来に無い」「新しい原理」というような用語には馴染みにくい。人の営みは何千年と続けられてきた。考え方自体は過去多くの人々が行ってきた所作である。「新しい考え方に基づく」と言ってもそれは、現時点から遡って10数年の考え方とは「異なる」考え方であり、それ以前から存在する考え方ではあるがコンピュータやインターネット等の新しい状況に適用するのが新規なポイントであるということも多い。しかしながら、それは研究のインパクトの小ささを示すものではない。その時代の背景、その時代の技術をベースにしたときに、その昔の考え方が非常に大きなインパクトを与えることがあるということである。

また、情報システムの研究分野は、ハードウェアの試作、ソフトウェアの作成が重要である場合が多い。(2)のように、単なるアイデアから、それを実現する具体的なシステムとの間にはかなり大きなギャップが有り、また、膨大な研究労力を必要とする。従って、あるアイデアに基づいて研究を進め具体的な成果を出すまでには長い時間を必要とすると同時に、その間に発表することの出来る論文数も限られる。これは、情報システム分野の論文数の絶対値がデバイス研究に比して著しく少ない原因であり、論文数で分野活性度を推し量る場合に注意せねばならない事項である。また、CRESTのように、先端分野開拓を目的としているプログラムでは、情報システム技術はその産業に与える影響も大きく重要であるにも関わらず、タイトルの地味さゆえに取り上げ

られ難い。今回の領域でも、設立計画の当初は、量子コンピューティングなどだけが強調され、通常の情報システムを取り上げる形にはなっていなかった。CREST は比較的長期の研究期間で実施される。その時点での話題性や原理的研究のみならず、社会における重要性をしっかりと踏まえた領域設定も必要であると考ええる。

(3)は、インターネットやパソコンを通して、あらゆる人々が日頃、情報の技術に接しているが、それが情報科学技術のすべてである訳ではない。医療分野、生物分野、化学分野、工学分野、農学分野、社会科学分野、経済分野、法制分野、文学分野など、多くの分野において、情報の技術は今後重要であり、その使いこなし方によってその分野の成長を大きく左右する。そのような特性を持った分野であるだけに、ある分野の研究に情報技術を使った場合と、情報分野プロパーの研究との区別が困難で、研究テーマタイトル中に「情報」という用語が入れば情報分野の研究であると見なされやすい。前者の研究は目的がその分野の開拓にある。キーワード「情報」の影に隠れて、中核的な情報分野の研究の必要性が見過ごされやすい。

また、(4)のように、パソコンのソフトウェアはその多くが Windows のソフトで占められ、使い方が世界中でデファクトとなっている。多くの人々が同じものを使っているが故に便利である。しかし、デファクトが幅を利かす分野では新規参入は困難であり、それを見透かして研究テーマの選択にブレーキが掛かりやすく、情報の基盤技術分野に進もうとする人々の意欲を削ぐ。従って、そういう基礎・基盤分野の研究は敬遠し、応用に傾注する傾向があるが、今後必ずしも現在のデファクトが最善ではない。また、応用分野において強い位置を占めるためには、基盤技術自体の深い理解が必要であり、それ無しには砂上の楼閣である。従って、情報の産業としてしっかりしたものを築くためには基盤分野が必須であり、それを見据えた人材の育成が必要である。

このような情報分野の特質を見極めた領域設定が必要であると考ええる。