

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」 研究領域事後評価報告書

総合所見

巨大化し複雑化する社会インフラシステムのディペンダビリティを確保する上で、その基盤技術である組込みシステム用オペレーティングシステムのディペンダビリティを高めるための研究開発に本領域が注力した意義は大きい。研究対象を狭義の組込み用オペレーティングシステムに止めることなく「OSD(オープンシステムディペンダビリティ)」を実現するためのアーキテクチャ、プロセス、要素技術にまで対象を広げて、その基盤となる設計開発手法、実現のためのフレームワーク、関連ツール技術を確立し、その成果を国際標準化活動やロボットワールドでの実証実験として示したことは高く評価できる。

総括および副総括の指導のもとで採択研究チームが連携して実用化研究を推進した運営方針、研究の進捗により研究チームを再構成して連携を深めた運営手法、領域アドバイザーに加えて領域運営アドバイザーと研究推進委員会を設置しさらに実用化に向けた開発センターを設立した運営手腕、研究進捗と実用化に向けた予算の重点配分などは今後の実用化指向のCREST研究領域の運営手法としてモデルケースになるものと考えられる。

研究テーマを広い意味での組込みシステムとして捉えたことにより、より包括的にディペンダブルの概念をカバーすることとなり、DEOS プロセスや DEOS アーキテクチャなどによる「オープンシステムのためのディペンダビリティ工学」を提起することにつながったことは、新しい学問分野の提唱として高く評価される。一方、産業化に向けた個別応用システムのため具体的ディペンダブル OS の性能実証実験に関しては、一部のリアルタイム応用のものを除き、今後の活動に期待する面も残されている。

研究成果をオープンソースとして公開し、国際標準化のプロセスを開始するなど、実用化に向けた取り組みは評価でき、DEOS 協会の創設も今後の発展が期待される。

総合して研究総括による運営は的確であり、研究結果として得られた概念と実証システム、そのオープンソース化、国際標準化活動、推進委員会の創設など、将来の研究開発の基盤としての役割を果たすものになっていると考えられる。

1. 研究領域としての成果について

1. 研究領域としての研究マネジメントの状況

- ・ 選考方針等：現在の機器に組込まれているシステムだけに止まらず、将来予想される様々な高度情報機器での組込みシステムを想定し、その実用化のための基盤研究を目指してディペンダビリティ技術の研究方針を設定し研究テーマを選考した手法は評価できる。この分野での著名な委員から構成される領域アドバイザーに加えて、実用化を見越して関連企業から多くの領域運営アドバイザーと研究推進委員を招き、さらに研究開発センターを設置するなど、研究成果の実用化に向けた積極的取り組みは今後

の CREST 研究領域のモデルケースとしても評価できる。具体的課題選考においては、領域発足から約 2 年をかけ、領域の基本研究方針「OSD: オープンシステムディペンダビリティ概念」を確立し、これに適合する研究チームを厳選する合理的選考が行われた。

- ・ 採択状況等：18 年度に採択した研究チームに対しては、領域の基本研究方針を確定するまでの間、基本方針に沿って横断型の研究チームを再構成し研究を指導した。19 年度は採択チームがなかったが、20 年度には確立した基本研究方針に従い、適合する研究チームを厳選し採択することで領域に必要な研究分野を網羅した。以上の過程で採択された研究チームは関連学会において 20 件を越す優秀論文賞、優秀講演賞等を顕彰、受賞しており、賞等の軽重にバラツキは見られるものの、ほぼ妥当な構成であったといえる。また OSD の国際規格に関する活動も開始しており、研究に参加した人材は実用化を目指した研究チーム構成としても妥当であったと評価できる。
- ・ 運営方針等：本領域の研究実施過程で確立した基本研究方針に従い、すでに採択されていた 18 年度採択研究課題については研究進捗に応じてチームを再編成して基本方針に沿うよう連携をはかり、20 年度採択課題については確立した基本研究方針に沿ったもののみを厳選採択することで強力に研究チーム間の連携をとるよう運営を行った。また関連企業を中心に領域運営アドバイザーと研究推進委員を招き、さらに実用化に向けた研究開発センターを設置するなど、本領域の趣旨に沿った的確な運営を行った。これらの運営体制を土台として各採択研究課題の進捗状況を随時把握するよう努め、OSD 概念の実用化のために予算を重点配分したこと、そして研究終了後を見据えてディペンダビリティ技術推進協議会(DEOS 協会)を設立したこと等は、卓越した運営方針であったと評価できる。

2. 研究領域としての戦略目標の達成に資する成果

(1) 得られた研究成果の科学技術への貢献

- ・ 学術的達成水準：本領域で採択された課題はディペンダビリティの構成要素である安全性や攻撃耐性に関するもの、リアルタイム性能に関するもの、古典的耐故障信頼性に関するもの、設計記述の形式検証に関するもの等、多岐に渡っているが、科学技術に対する達成水準は高いものから平均的なものまであり一様ではない。一般にこの分野における研究は米国や中国を中心として世界的に分散して研究を進めているグループがリードしており、米国以外の国々の研究機関や企業が主導する研究は量的側面において及ばない状況にあることを考慮する必要がある。その状況の中で本研究成果は、世界的に見てトップレベルの学術誌や国際会議に採録されるなど独自性の高い成果が含まれ、それらは世界的に見ても高い水準にあるといえる。
- ・ 新規学問領域の提唱：システムの安全性や攻撃耐性に関して、OSD の概念に基づく DEOS プロセスと、その実現のための DEOS アーキテクチャを提案し「オープンシステムのた

めのディペンダビリティ工学」の創設を提唱した。これはこの分野における新たな学問領域の提唱であり、国際標準化を含めて今後の新しい研究基盤となる重要な貢献であるといえる。またこれらの概念を具体的に ART-Linux システムとして実証したことも高く評価される。

- ・ オープンソース化：DEOS アーキテクチャの実施例や関連する開発ツールの多くがオープンソースとして公開されており、実現した OS 機能には Linux ソースツリーに採用されたものもあり、産業化応用のみならず今後の研究基盤を与えるものと評価できる。

(2) 得られた研究成果の科学技術イノベーション創出への貢献

- ・ 開発された技術： D-Case 等やその関連ツール群は、DEOS 技術体系として産業上有用な成果技術を少なからず含んでおり特許出願も少なくない。現時点では産業界や社会に対して大きなインパクトを与えるまでには至っていないが、本プロジェクトで開発した技術の一部は国際標準化に向けて作業が進んでおり、将来の産業応用への基盤としての寄与が期待される。
- ・ オープンソース：本研究領域で開発されたソフトウェアは OS および関連ツール群が基本的にオープンソース化されており、産業界での応用と発展の可能性を含んでいる。中でもリアルタイム用の OS である ART-Linux はロボットワールドでのデモンストレーションに成功しており、産業界からの注目を集めるものと期待される。
- ・ DEOS 協会：ディペンダビリティ技術推進協会を設立したことにより、DEOS の概念は、将来、組込みを含む多くの高信頼性システムで用いられる可能性を有していると考えられる。
- ・ 実証例の必要性：一方、上記のいずれの成果においても、市場化を前提としたイノベーションへの寄与を考えると、産業界からはより確かな利点の確証を求められる。本研究で提唱された DEOS プロセスの概念では、ディペンダビリティを向上するために実用例からのフィードバックを必須としている。この意味からも今後、多くの実証実験を重ねることで一層その性能や実力を証明していくことが重要と考えられる。
- ・ 移植性の向上：DEOS 概念の実用化では既存の応用プログラムとの親和性が問題となるが、そのための移植容易化手法の確立が必要となろう。また、主な OS は Linux のみならず Android など、業界標準は時とともに変化する。そのため異なる OS への移植容易化手法についても配慮する必要がある。

3. 評価

(1) 研究領域としての研究マネジメントの状況

十分に適切であった

(2) 研究領域としての戦略目標の達成に資する成果

(2-1) 得られた研究成果の科学技術への貢献

高い水準にある

(2-2) 得られた研究成果の科学技術イノベーション創出への貢献

科学技術イノベーションに寄与する成果となっている

(3) 総合評価

十分な成果が得られた

4. その他

オペレーティングシステム分野の技術は、米国を中心に研究開発が進められてきており、我国を含めた他の諸国は米国に水を開けられている感がある。その中で本領域は“ディペンダブルOS”という比較的包括的概念の実用化を目指して開始され、「走りながらその研究方針を明確化した」感がある。与えられた予算と時間の境界条件のもとで OSD 概念の確立や DEOS プロセスと DEOS アーキテクチャの提唱、DEOS 開発センターの設立など、最善のリーダーシップを発揮したことに疑いはないが、まず米国の研究に対しても競争力が期待される基本研究方針を確立し、その後具体的に研究課題を採択したほうがより効率的であったとも思われる。

また実用化(あるいはイノベーション)に主眼を置くプロジェクトの場合では、具体的市場のニーズ分析により応用分野を特定してからその実現のための研究課題の採択がされるべきであろう。今回の研究課題の採択では、ディペンダビリティに関連する多様な課題解決を同時並行して達成しようとしたものとも考えられる、そのため本領域では、個々の組込みシステムとしての安全性、信頼性、応答性等だけでなく、それらが接続される情報システム全体の信頼性・安全性等を確保するための要件を充足できることが必要であるという観点に立つこととなり、結果的に組込みシステムだけでなく大規模分散型情報システムまでをも研究対象にしているように見受けられる。交通情報制御システムや特定用途の大規模分散型情報システム等は、広義には組込みシステムとも呼べるであろうが、本領域の戦略目標で想定している組込みシステムとの間にややギャップを感じる。

II. 研究領域の活動・成果を踏まえた今後の展開等についての提言

1. 科学技術イノベーション(成果の社会・産業への実装)へと展開させるための方策

- ・すでに活動し始めている国際標準化への努力、DEOS 協会の活性化を通じて、今回の成果の主要な部分を切り出し、本気で市場化の努力を継続してもらいたい。研究領域の設定に関しては、技術の実用化(市場化)では具体的なニーズ分析が成功・不成功を決めるものであり、一方、科学技術の基盤研究では将来のためのシーズについての高い先見性を必要とする。今回は少々、二兎を追った感が否めず、研究総括の苦勞が推察

される。

- ・今回、研究総括が提唱した OSD の概念はより広いものを含んでおり、今後の具体的なニーズ開拓如何によっては、DEOS の考えが適合応用分野で展開され、イノベーション創成の可能性があると思われる。
- ・本プロジェクトの成果の活用には、産業界からの参画が不可欠である。昨年 10 月に DEOS 協会を発足させたことは、この役割を負うものとして適切であると考え。技術がいわゆる「死の谷」を越えて産業活用されることは容易ではなく、こうした活動に対しての公的な支援、あるいは産業界の支援の後押しをする取り組みがなされることが望ましい。
- ・既に、オープンシステムディペンダビリティの概念自体やこれに基づく研究成果の国際標準化が進められるとともに、普及のための DEOS 協会も設立されており、成果の社会・産業への実装、展開が始まっている。今後も、これらの活動を継続され、成果が実用化、普及することを期待する。モバイル情報端末、車載機器、ウェアラブルコンピュータ等のいわゆる端末側への展開も望まれる。
- ・産業界の提言機関との連携が考えられよう。産業競争力懇談会(COCN)における推進テーマの一つとして、本提案の DEOS プロセス、アーキテクチャを取り上げるなどが考えられる。

2. 科学技術の進歩へと展開させるための方策

- ・オープンシステムディペンダビリティの概念は、情報システムのソフトウェア以外の対象領域への適用、発展が期待でき、新しい工学分野としての「オープンシステムのためのディペンダビリティ工学」の確立が望まれる。本研究領域では、個々の組み込みシステム自身だけではなく、それらが接続される情報システム全体を研究対象としたが、本研究領域の成果を踏まえ、モバイル情報端末、車載機器、ウェアラブルコンピュータ等の個別応用でのディペンダビリティの向上を目指してもらいたい。超並列プロセッサアーキテクチャやシステムオンチップ(SoC)や再構成可能なハードウェア(リコンフィギャブル)技術等のハードウェア技術も含めた研究開発へと発展させ、組み込みシステム用の次世代基盤技術の創出を行う研究領域の設定が望まれる。
- ・本プロジェクトではディペンダビリティを実現するさまざまな要素技術の研究開発と、それらをまとめあげる DEOS 技術体系の枠組の構築、その活用のためのツールであるソフトウェアの構築などがなされてきたが、ディペンダビリティのための要素技術については、このプロジェクトで完結するものではなく、今後とも研究開発を継続する必要があるが、個々の要素技術は各々比較的独立性の高い研究課題として扱っていくのが適切であろう。DEOS 技術体系については本プロジェクト特有の成果で、ひと通りの完成はみたものの、今後実用化される過程ではさまざまな新たな問題に直面し、解決していかなければならない可能性も高い。この実用化研究開発はある程度の規模をもって

推進する必要がある、新たなまとまった課題が見えてきた時点で新たな研究領域を設定するなど、ダイナミックな研究投資が必要になる可能性が高い。

- ・ 提案されている DEOS アーキテクチャは、主にソフトウェア側からのアプローチが強いと考えられる。社会インフラシステム全体のディペンダビリティを担保するためには、ハードウェア、ソフトウェア両面からの検討が必要であり、また、社会科学的な考察も必要になると思われ、本提案の手法をさらに発展させるような研究活動が必要と思われる。発足した DEOS 協会では組込みシステムの専門家に加えて社会インフラの専門家を加えてはどうか。

3. その他

- ・ 本研究領域のように、産業界において急速な進展を見つつある技術分野については、重点を絞った上で産業界を真剣に巻き込むことができる規模の研究投資を行っていくことが必須であろうと考える。そのような取り組みなしでは米国を中心とする民間の巨額投資に対抗できる研究上の競争力を持つことは難しく、そのことは次代の産業競争力にも大きく影響するであろう。このためには、大学などの既存研究機関に所属する研究者を集めるだけでなく、特定の領域の研究を目的とする研究機関の設置までを視野に入れた方策が必要であろう。
- ・ 本研究領域では、総括および副総括の主導の下、横断型研究チームの構成、DEOS センターの設置、領域全体の成果につながる研究への予算配分等、「領域全体としての研究」を強く意識した運営がなされ、CREST のプロジェクトの運営としてモデルケースになるものと考えているが、一方で公募により採択された提案課題が軽視された感がある。運営手法を区別する意味から、別途「総括主導型 CREST」というようなカテゴリーを設けることも考えられる。
- ・ 一般論として、戦後から今日までの科学技術発展の結果、今後、半世紀ほどは“シーズ過多の時代”が続くと予想される。そのためイノベーションに向けた投資効率はニーズ開拓への投資の方が高いであろう。一方、シーズ開拓と異なりニーズ開拓は、広くだれでもがその可能性を持っている。従来型の集中投資によるイノベーション指向研究開発は結果的に「研究者による仮想ニーズに向けたシーズ研究」となり、イノベーション創成への投資効率はあまり高くないであろう。多様なベンチャー起業支援による、より広範にニーズ開拓が必要となろう。

以上