

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「1 線式デバッグインターフェースに対応した
組込みソフトウェア支援ツールの開発」

研究開発成果等報告書

平成22年5月

委託者 中部経済産業局
委託先 株式会社サニー技研

目 次

第 1 章	研究開発の概要	1
1 - 1	研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1 - 2	研究体制	3
1 - 3	成果概要	6
1 - 4	当研究開発の連絡窓口	9
第 2 章	本論	10
2 - 1	1 線式デバッグインターフェース調査とデバッガ、 適合ツール機能検討	11
2 - 2 - 1	Eclipse の調査と組み込み開発環境への適用検討	12
2 - 2 - 2	Eclipse プラグインソフトウェアの調査と実装評価	13
2 - 3	組み込みソフトウェア開発用共通 API の策定	14
2 - 4	C 言語開発に対応したデバッグソフトウェアの開発	15
2 - 5	適合ツールソフトウェアの開発	16
2 - 6	適合ツール評価用インターフェースアダプタ開発	17
2 - 7	プロジェクトの管理・運営	18
第 3 章	全体総括	19
3 - 1	研究開発後の課題	19
3 - 2	事業化展開	21

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

近年、自動車の高性能化、環境対策、国際競争力強化のための電子化により、自動車メーカーでは自動車に搭載されるマイコン（車載マイコン）を制御する組込みソフトウェア開発量（プログラムの大きさ、複雑さ）が爆発的に増えてきている。

マイコンの多用によるソフトウェア偏重は、自動車に限ったことではなく、情報家電など日本のお家芸と目されている製品分野でも一般に知られている事実である。

しかしながら、自動車制御ソフトウェアにおいては、大きな特殊事情がある。

自動車制御ソフトウェアにおける品質基準は、瑕疵が無いという狭い意味の他に、定量化の難しい要求指標により製品の付加価値が定義されることがある。（官能性能/非機能要件と呼ばれる）

代表的な例としては「乗り心地」がある。「乗り心地」は複数の構成要素により複雑に定義される定性的な指標であり、特定の構成部品の完成度により定義できるようなものではなく、細かい物理係数の積み重ねにより達成される品質である。

このため自動車制御ソフトウェアにおける「デバッグ」とは、ソフトウェア工学の知見に基づく狭い意味での瑕疵修正（デバッグ）に加え、自動車工学や安全性工学の知見に基づくパラメータチューニング（適合）を含むべきである。使用する開発フェーズの違いから、「デバッグ」と「適合」は別のものと看做されているが、開発ツールベンダの立場から見ると、両者に必要な技術は極めて類似している。

自動車の長い歴史から見ると、マイコンの導入は最近になって行われたものである。一定の成功は納めたものの、模索が続いている。特に、広義のデバッグツール（適合ツール含む）には川下製造業者の生産性に関わる課題が残存している。以下、本課題を顕在化し、その対策である研究の目的について記述する。

デバッグ・適合ツールの導入に対する課題は以下のようである。

①デバッグ・適合ツールの導入コストの増大

一般にマイコン製品は、各半導体メーカーにより、その性能向上・製造コスト低減等のため独自の規格・機能が搭載される。この時、より大量のデータを高速に転送できるようにするなど、その接続規格や構成が刷新されるごとに新たなデバッグ・適合ツールの導入が必要となる。そのため自動車メーカーにとっては、ツールの購入にかかる費用支出の増大が、開発コスト、及び保守コスト、ひいては製品価格へも影響を与えることとなっている。

②デバッグツールの標準化への課題

近年、開発プロセスの管理をツールの組み合わせにより担保する傾向が強い。開発プロセスの中流/下流での生産性や品質を担う存在であるデバッグツールは、単にそれ自身が高機能であるというだけではなく、構成管理ツール/モデルベース開発ツール/検査ツール/コンパイラ等、他の開発用ソフトウェア群との接続性を高めることが求められ、統合ソフトウェアツールとして構成されてきた。

最近まで、統合ソフトウェアツールはツールベンダーやセミコンダクタベンダが、独自の標準を提供することが主流であった。ツールを導入する側にとってはツール内では一貫した操作性、信頼性の確保につながるものの、いわゆるベンダロックオン（別の環境に移行するコストが高く、特定環境に縛られ続ける）が起り易く、コストや性能/機能に関する健全な競争が起りづらい、ツール使用者への隠れた負担となっている（図2参照）。現時点で、デバッグツールについては、標準となる規格の策定、特に国際的な標準化は十分進んでいないのが実情である。

③適合ツールの制約と標準化への課題

適合ツールを評価のために実車へ搭載する場合、物理的な制約（設置場所、大きさ、計測装置との距離の確保）や環境的な制約（温度、湿度、粉塵）が発生してきた。そのため特別な設置場所の確保や、温度条件の緩和などの暫定処置が取られたが、その結果として、十分な評価結果が得られなかったり、本来発生すべき問題点が検知されないなどの問題もあった。このような制約により、適合ツールにおいても標準化は進んでおらず、ハードウェア依存による専用ツールとしてこれまで位置づけされてきた。

現在、①～③の問題を解消する活動として、日本の自動車ソフトウェアプラットフォーム標準化団体である JASPAR にてマイコン共通の次世代デバッグインターフェースの仕様策定が進められている。この規格によりマイコンのデバッグインターフェースが1種類に統一されるだけでなく、必要とする信号線を1本に抑えられ、開発対象機器とデバッグツール間の配線のゆとり（クリアランス）を幅広く取ることが実現できるため、開発時の物理的な制約、環境的な制約が一挙に解消される。

ただし、この信号線を1本としたデバッグインターフェース（1線式デバッグインターフェース）は、規格の標準化により開発ツールの再利用性にとっては大きな改善をもたらすが、それを利用するためのソフトウェアに関する規定までは触れられていない。この状況では、1線式デバッグインターフェースをサポートするデバッグツールは増加するものの、マイコン毎に寡占が発生する現状では、ツールベンダ間で行われる無駄な重複投資が、川下製造業者のツール導入コストを間接的に高めることになる。川下製造業者は、高いツール導入コストを負担するか、ツールに縛られてマイコンの選択の自由を放棄するか2者択一に迫られる。最適なマイコンを選択できない状態では、競争力のある製品の創出が難しくなる。ツールベンダー、及びサードパーティーが1線式デバッグインターフェースを利用し、応用したツール提供を手がけようとするためには、デバッグインターフェースの抽象化と、標準化されたソフトウェアアクセス手段が必要である。

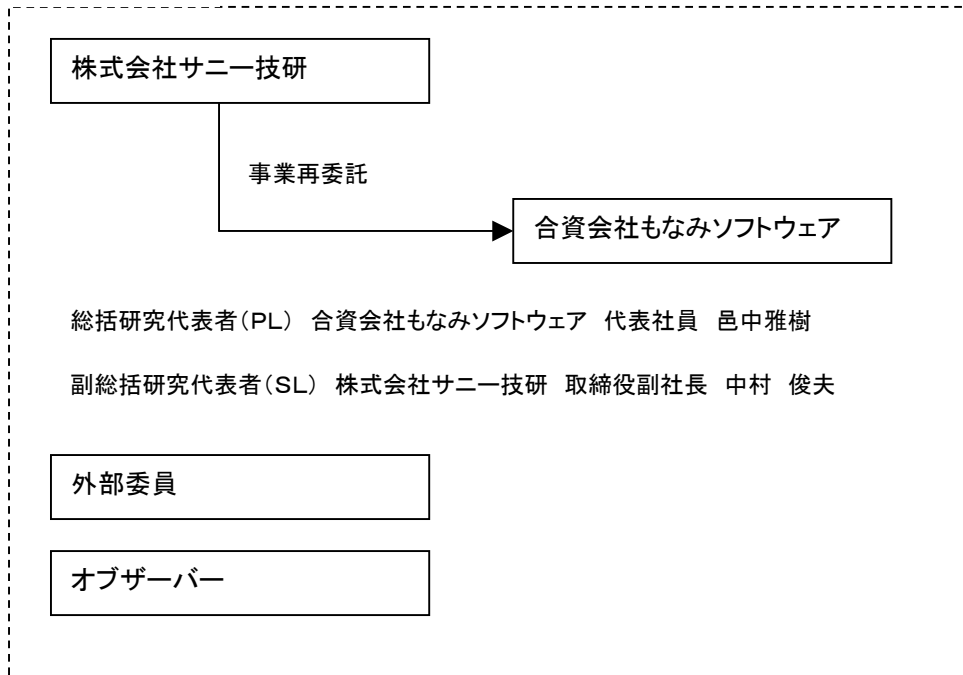
また、欧州の自動車用組込み開発ツール動向への協調も必要である。欧州では自動車メーカー、部品メーカーが中心となって、これまで個別に開発されてきたソフトウェアツール群を Eclipse というオープンソースのツールプラットフォームに統合させようという動きがある。欧州では、Eclipse に対応した数多くの関連ツールを組込み開発用の支援ツールとして位置づけ、AUTOSAR で規格された自動車用組込みソフトウェアプラットフォームを利用するための中心に据えようとしている。このような国際標準化への協調は川下製造業者の要件でもあり、組込みソフトウェア支援ツールについてはこうした動向にも柔軟に対応できることが要求されている。

本研究では、以上のデバッグ・適合ツールが抱える課題に対して、1線式デバッグインターフェースと Eclipse を研究テーマとして絞り込み、デバッグ・適合ツールの問題を解消するための基盤技術の確立と開発環境を構築することを目標として取組みを行う。

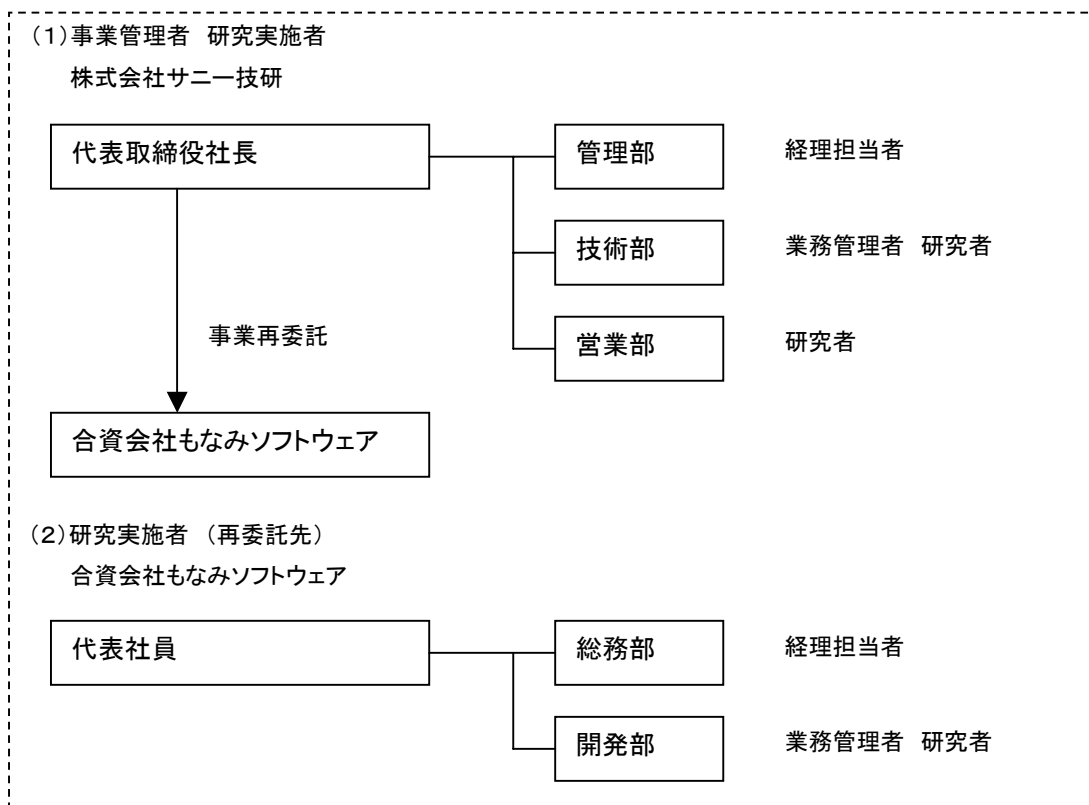
1-2 研究体制

本事業委託先の研究組織および管理体制を以下に図示する。

研究組織



管理体制



事業管理者および研究者、協力者氏名

本事業関係者氏名を以下の表に示す。

(1/2)

分類	所属組織	氏名	所属・役職
事業管理者	株式会社サニー技研	渡辺 義明	管理部 部長代理
		澤下 勝彦	管理部 総務課 課長代理
		浜崎 正夫	管理部 品質管理課 課長代理
研究実施者	株式会社サニー技研	中村 俊夫	取締役副社長 技術部長 副統括研究代表者(SL)
		今村 聡彦	技術部 外販製品課 課長
		大塚 登	技術部 電子設計2課 課長
		熊本 一信	営業部 営業1課 課長
		浜崎 正夫	管理部 品質管理課 課長代理 (事業管理者兼務)
		田代 有宏	技術部 車載1課 課長代理
		乾 正樹	営業部 営業1課 専任
		津田 成彦	技術部 車載1課 主任
		富氣 久幸	技術部 外販製品課 専任
		田中 俊行	技術部 車載2課 主任
		村上 倫	技術部 車載2課 主任
		米田 真之	技術部 ソフトウェア基盤技術課 担当
		中本 加那	技術部 ソフトウェア基盤技術課 担当
		高島 光	技術部 車載2課 担当
		吉田 啓介	技術部 電子設計1課 主任
		田中 稔	技術部 電子設計1課 担当
		森 禎道	技術部 外販製品課 主任
		大澤 哲也	技術部 外販製品課 担当
		宮崎 健一	技術部 車載2課 主任
		國宗 岳生	技術部 ソフトウェア基盤技術課 担当
		智原 隆史	技術部 外販製品課 専任
	合資会社もなみソフトウェア	邑中 雅樹	代表社員
		高田 光隆	開発部・上級エンジニア
		横田 敬久	開発部・エンジニア
		田澤 直美	開発部・文書エンジニア

分類	所属組織	氏名	所属・役職
外部委員	国立大学法人名古屋大学	高田 広章	大学院情報科学研究科 教授
		本田 晋也	大学院情報科学研究科 助教
	名古屋市工業研究所	小川 清	電子情報部情報・デバイス研究室 主任研究員
	地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 産業技術研究本部 工業試験場	堀 武司	情報システム部 計測・情報技術G 研究主任
	トヨタ自動車株式会社	細谷 伊知郎	制御ソフトウェア開発部 主査
	アイシン精機株式会社	鈴木 延保	第一電子系技術部 主査
	株式会社 東海理化	伊藤 茂二	エレクトロニクス機器事業部 エレクトロニクス技術部 プラットフォーム開発室長兼 システム開発室 主査
		稲垣 修	エレクトロニクス機器事業部 エレクトロニクス技術部 プラットフォーム開発室 PF1グループ長
	株式会社ルネサスエレクトロニクス	浅野 真弘	自動車事業部 主管技師長
	株式会社 ルネサスソリューションズ*	岩崎 聡文	第一応用技術本部 汎用 MCU 応用技術部 自動車応用技術グループ 技師
オブザーバー	富士通セミコンダクター 株式会社	野津 昭一	マイコンソリューション事業本部 自動車事業部 ソリューション技術部 部長
		古賀 敏裕	マイコンソリューション事業本部 自動車事業部 部長
		五十嵐 純	マイコンソリューション事業本部 自動車事業部 ソフトウェア開発部・技師 ソフトウェア・アーキテクト
		室井 崇臣	マイコンソリューション事業本部 ソフトウェア技術統括部 基盤ソフトウェア開発部
		劉 憲	マイコンソリューション事業本部 ソフトウェア技術統括部 基盤ソフトウェア開発部 プロジェクト課長
	株式会社サニー技研	上月 富夫	代表取締役社長
		中村 和彦	代表取締役社長
		平田 聖子	技術部

1-3 成果概要

本研究の目的を達するため、研究サブテーマを設定し研究を実施した。
以下にサブテーマ毎の研究成果を記述する。

【1】 1 線式デバッグインターフェース調査とデバッグ、適合ツール機能検討

担当：株式会社サニー技研、合資会社もなみソフトウェア

<研究計画>

- ・ 1 線式デバッグインターフェースを備えたマイコンについて、アドバイザーの技術指導のもと、各社の代表モデルの仕様調査を行う。
- ・ デバッグソフトウェアならびに適合ツールについて、アドバイザー各社/組織へのヒアリングならびに従来の組み込み開発ツールの調査から機能検討資料を作成する。

<研究成果>

- ・ 半導体メーカ 2 社に関して 1 線式デバッグインターフェースを有する MPU について、1 線式デバッグインターフェースを介して提供される機能について調査を行った。
- ・ デバッグソフトウェアについて、製品の調査を行った。
市販の 9 製品について、31 項目の項目について機能の有無、あるいは制約等の特記事項について調査を行い、そこから得られる製品動向や特徴について考察を行った。
- ・ 市販適合ツール（RAM モニタ）について製品の調査を行った。
市販の 3 製品について、10 項目の項目について機能の有無、および実現内容について調査を行った。適合ツールにおいては販売される価格帯により、提供される機能に関して大きな差があることが判明した。

【2】 - 1 Eclipse の調査と組み込み開発環境への適用検討

担当：株式会社サニー技研、合資会社もなみソフトウェア

<研究計画>

組み込みソフトウェア開発環境として応用することを目的にした Eclipse の機能、性能、拡張性を調査し、Eclipse における組み込み開発環境の検討資料を作成する。

- ・ 日本国内外に存在している Eclipse を応用した組み込みソフトウェア開発環境の実例を分析し、世界標準となるべきプラグインの構成を報告書形式で提案する。
- ・ 欧米の実例分析として少なくとも 1 製品、日本国内における事例分析においては少なくとも 3 製品について調査を行う。
- ・ Eclipse における C 言語開発環境が用いているプロトコル及びその実装について、一般的な組み込みソフトウェアの開発用途として不足している点を抽出し、仕様として提案する。報告書および仕様案に関しては、アドバイザー各社/組織へのヒアリングを踏まえて作成する。

<研究成果>

- ・ 組み込みソフトウェア開発環境として応用することを目的にした Eclipse の機能、性能、拡張性を調査し、Eclipse における組み込み開発環境の検討資料を作成した。
- ・ 日本国内外に存在している Eclipse を応用した組み込みソフトウェア開発環境の実例を分析し、世界標準となるべきプラグインの構成を報告書形式で提案した。
- ・ 欧米の実例分析として 1 製品、日本国内における事例分析において 3 製品について調査を行った。
- ・ Eclipse における C 言語開発環境が用いているプロトコルおよびその実装について、一般的な組み込みソフトウェアの開発用途として不足している点を抽出し、仕様として提案した。
- ・ 報告書および仕様案については、アドバイザー各社/組織へのヒアリングを踏まえて作成した。

【2】－2 Eclipse プラグインソフトウェアの調査と実装評価 担当：株式会社サニー技研、合資会社もなみソフトウェア

＜研究計画＞

【2】－1 の調査結果を踏まえ、自動車制御用ソフトウェアの開発に特化した応用において有用と考えられているプラグインに関して、アドバイザー各社/組織へのヒアリングを行う。これら現存するプラグインと、今後の今回開発成果となるプラグイン（デバッグソフトウェア、および適合ツールソフトウェア）との親和性を検討し、さらなる生産性向上のためにどのようなアクションをすべきかを報告書形式で作成する。

＜研究成果＞

- ・【2】－1 の調査結果を踏まえ、自動車制御用ソフトウェアの開発に特化した応用において有用と考えられるプラグインに関して、アドバイザー各社/組織へのヒアリングを行った。
- ・これら現存するプラグインと、今回成果となるプラグイン（デバッグソフトウェア、および適合ツールソフトウェア）との親和性を検討し、少なくとも 1 製品との共存が可能であることを動作検証した。
- ・さらなる生産性向上のためにどのようなアクションをするべきかを報告書形式で作成した。

【3】組込みソフトウェア開発用共通 API の策定 担当：株式会社サニー技研、合資会社もなみソフトウェア

＜研究計画＞

Eclipse を組込みソフトウェア開発環境として、1 線式デバッグインターフェースと接続するための標準呼び出し方式となる API を策定する。API を策定するに際しては、アドバイザーよりのアドバイスを得ることにより、より適切な標準化を目指す。
成果として共通機能 API、デバッグ機能対応 API、適合ツール機能対応 API の 3 種類の仕様を作成する。

＜研究成果＞

- ・本研究において、1 線式デバッグインターフェースに対する API を策定した。
- ・アプリケーションとの界面となる API は、それぞれ目的別に共通機能 API、デバッグ機能対応 API、適合ツール機能対応 API の 3 種に分類される。
- ・策定の有効性を検証するための実装に当っては、非公開の機能であるがインターフェースアダプタを制御するプログラムと機種依存情報を解決させるプログラムも必要であり、その構成を示唆した。
- ・公開される API は以下の通りである。

(1) 共通機能 API	10 機能
(2) デバッグ機能対応 API	29 機能
(3) 適合ツール機能対応 API	5 機能

【4】C言語開発に対応したデバッグソフトウェアの開発

担当：株式会社サニ一技研、合資会社もなみソフトウェア

<研究計画>

C言語によるソフトウェア開発に対応したデバッグソフトウェアを開発する。

- ・C 言語によるソースファイル作成からデバッグ作業までを網羅する開発支援機能を Eclipse 上での操作を可能にした上で、デバッグソフトウェア及び共通 API の開発・検証を実施する。
- ・開発するデバッグソフトウェアは、1 線式デバッグインターフェースを有した 1 品種のマイコンを対象とする。
- ・PC 上で動作する Eclipse 対応のデバッグソフトウェアとして、支援ソフトウェア、及びドライバソフトウェアを作成する。
- ・作成するデバッグソフトウェアの試験をするために、あらかじめ開発対象のマイコン上で正しく動作できていることが確認できるテストプログラムを開発する。

<研究成果>

- ・開発支援機能について、Eclipse 上での操作が可能な GUI モジュールおよび共通 API 仕様に準拠する DLL を作成し所要機能の実現ができた。
- なお、共通 API 仕様は一般的な規定として、サブテーマ 3 において作成したものであるが今回の研究においてはそのすべては実現していない。
- 実現済機能と、未実現の概要を以下に示す。
- | | | |
|-------|-------------|--------|
| 実現済機能 | 共通 A P I | 9 機能 |
| | デバッガ用 A P I | 1 4 機能 |
| 未実現機能 | デバッガ用 A P I | 1 6 機能 |
- 今回の研究では未実現機能があるが、Eclipse 上で動作するデバッガの実現可能性の検証を主眼とすると、ところの初期の目的は達成したと考える。
- ・作成したデバッガは、計画通り 1 品種のマイコン対応として実現した。
 - ・作成するデバッガの動作検証のため、あらかじめ正常動作が確認されたテストプログラムを本研究で開発するデバッガとは別の既存開発環境を使用して作成した。

【5】適合ツールソフトウェアの開発

担当：株式会社サニ一技研、合資会社もなみソフトウェア

＜研究計画＞

Eclipse 上から操作可能な適合ツールソフトウェアの開発、及び共通 API の開発・検証を実施する。

- ・開発対象とするマイコンは、【6】で開発する適合ツール評価用インターフェースアダプタで変換できる多線式デバッグインターフェースを有したマイコンとする。
- ・PC上で動作する適合ツールソフトウェアとして、適合ツールアプリケーションとドライバソフトウェアを開発する。
- ・適合ツールアプリケーションを呼び出し可能とするように Eclipse の定義を拡張する。
- ・作成した適合ツールソフトウェアの試験をするために、あらかじめ開発対象のマイコン上で正しく動作できていることが確認できるテストプログラムを開発し、開発対象のマイコンボード上に書き込んだ上で試験する。

＜研究成果＞

- ・研究サブテーマ【6】の成果物をを接続し、マイコン1機種について、開発を行った。
- ・GUI、共通API、ファームウェアの開発を行い、サブテーマ【1】で要件定義したRAMモニタの実行、一線式デバックインターフェイスをもたないMCUに対象としたRAMモニタを実現できることを確認した。また、適合ツールアプリケーションを呼び出し可能とするようにEclipseの定義を拡張した。
- ・作成する適合ツールの動作検証のため、あらかじめ正常動作が確認されたテストプログラムを本研究で開発するデバッガとは別の既存開発環境を使用して作成した。
- ・RAMモニタの動作中にターゲットのプログラム動作にほとんど影響を与えずにRAMモニタが実施できることが確認できた。
- ・機能要件について、川下ユーザ殿ヒアリングで判明した要望で実現できていない機能は、モニタ中データのグラフ表示機能、トリガー前後のロギングデータの出力機能、サンプリング方式でのモニタ機能がある。これらの機能実現は今後の課題である。

【6】適合ツール評価用インターフェースアダプタ開発

担当：株式会社サニー技研

＜研究計画＞

本項では【5】で作成した適合ツールソフトウェアの評価に用いるためのハードウェア、及びそのハードウェア上で動作する制御ソフトウェアを開発する。

- ・アナログ信号入力、汎用ロジック信号入力、及び従来の多線式デバッグインターフェースを1線式デバッグインターフェースに変換する機能を有するインターフェースアダプタとする。
- ・本開発ではハードウェアのプリント基板の設計工程については外注する。

＜研究成果＞

- ・計画時の要件に沿った、インターフェースアダプタハードウェアを設計・製作した。設計・製作は、仕様要件を提示し実作業は外注で実施した。
- ・製作されたハードウェア上で動作する、制御ソフトウェアの製作を行った。これらハードウェアおよびソフトウェアについては、計画通り実現し、研究サブテーマ【5】の実施に供用した。

【7】プロジェクトの管理・運営

担当：株式会社サニー技研

＜研究計画＞

プロジェクトの管理運営は「研究開発委員会」を6回実施し、進捗状況及び開発成果の妥当性等を管理する、本事業の運営を円滑かつ有効性の高い研究事業とする。

＜研究成果＞

- ・「研究開発委員会」は計画通り6回開催した。本事業当事者のみならず、外部協力者の参画を呼びかけ、半導体メーカー各位、公設試機関各位、川下ユーザー殿のご教示やご意見をいただき、研究に資することができた。
- ・またこれとは別に「技術検討会」を10回開催した。本検討会は、研究者相互間での具体的な研究内容についての検討および討論、中間成果の発表等をこなった。技術検討会においても、半導体メーカー各位、公設試機関各位、川下ユーザー殿のご出席をいただき、ご教示やご意見をいただき、研究に資することができた。
- ・プロジェクトの運営を円滑かつ効率的に遂行するために、以下のツールを使用し運用を行った。
 - (a) 研究者および外部協力者への伝達手段として、メーリングリストの活用
 - (b) 一部の研究サブテーマにおいて、Trac/Subversionを使用。

1-4 当研究開発の連絡窓口

株式会社サニー技研 取締役副社長 中村俊夫

電話番号 052-221-7600 サニー技研名古屋事業所

FAX 052-221-0071 同上

E-mail nakamura.toshio@sunnygiken.co.jp

第2章 本論

次ページより、本研究のサブテーマ毎の研究内容及び成果を記載する。

市販デバッグの機能に関する調査

機能	GDB7.0	AH	AP	B	C	S	M	P	T	W	○の数	×の数	重要度
ソフトウェアブレイクポイント	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	10	0	1.0
ハードウェアブレイクポイント	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	10	0	1.0
ソフトウェアウォッチポイント	○	×	?	○	?	?	○	?	×	○	4	2	0.7
ハードウェアウォッチポイント	○	○	?	○	?	?	○	?	×	○	5	1	0.8
ステップ実行	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	10	0	1.0
リバースステップ実行	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	1	9	0.1
メモリ参照	停止時	○	○	○	○	○	○	○	○	○	10	0	1.0
	実行時	○	?	?	×	?	○	×	×	×	3	4	0.4
メモリ書換	停止時	○	○	○	○	○	○	○	○	○	10	0	1.0
	実行時	○	×	?	×	?	○	×	×	×	3	5	0.4
フラッシュメモリ書込み	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	9	1	0.9
CPUレジスタ参照	停止時	○	○	○	○	○	○	×	○	○	9	1	0.9
	実行時	×	○	?	×	?	×	×	○	×	2	6	0.3
CPUレジスタ書換	停止時	○	○	○	○	○	○	×	○	○	9	1	0.9
	実行時	×	×	?	×	?	×	×	×	×	0	8	0.0
I/Oレジスタ参照	停止時	×	(*)	○	×	(*)	○	?	○	○	7	0	1.0
	実行時	×	(*)	○	×	(*)	○	?	×	×	2	4	0.3
I/Oレジスタ書換	停止時	×	(*)	○	×	(*)	○	?	○	○	7	0	1.0
	実行時	×	(*)	○	×	(*)	○	?	×	×	2	4	0.3
実行時間計測	△(*2)	×	○	○	?	○	?	○	○	○	6	1	0.9
構造体参照/書換	○	○	?	○	○	○	○	○	○	○	9	0	1.0
ローカル変数参照/書換	○	○	?	○	○	○	○	○	○	○	9	0	1.0
配列参照/書換	○	○	?	○	○	○	○	○	○	○	9	0	1.0
CPUシミュレーション	○	○	?	×	×	×	×	×	○	×	3	6	0.3
ROM/RAMシミュレーション	△(*2)	○	×	×	×	○	×	×	×	×	2	5	0.3
ブレイクバック	△(*2)	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0	7	0.0
RTOS対応	△	○	?	○	○	×	×	×	○	○	6	2	0.8
ターゲット接続テスト	△(*2)	○	×	○	×	×	×	×	×	×	2	7	0.2
ソースコード/ASM MIX表示	○	○	?	○	○	○	○	○	○	○	10	0	1.0
メモリフル	○	○	?	?	?	?	?	?	?	×	3	1	0.8
メモリ検索	○	○	?	?	?	?	?	?	?	×	3	1	0.8
メモリコピー	○	○	?	?	?	?	?	?	?	×	3	1	0.8
スタック解析	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	10	0	1.0
トレース	△(*2)	○	○	○	?	○	×	○	×	○	7	1	0.9
プログラムカウンタ周回サンプリング	×	○	?	?	×	×	×	×	×	×	1	7	0.1
標準出力エミュレーション	○	○	?	?	×	×	×	×	×	×	3	5	0.4
ログターミナル	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	1	9	0.1
*1 通常のメモリとしてアクセス													
*2 GDBサーバの拡張次第													

市販デバッグの機能について、組込みシステムで用いられる代表的な製品のうち、いくつか無作為に抽出してその機能比較を行った。また、本研究開発で用いるオープンソースデバッグであるGDBがこれらの製品と比べて、どの程度の機能を実現可能かという点についても比較した。

- 比較したすべての製品で、ハードウェアブレイクポイントに加え、ソフトウェアブレイクポイントのサポートがあった。ICEの場合、ソフトウェアブレイクポイントのサポートは、ハードウェアブレイクポイントよりもひと手間かかるものの、製品として備える機能としては当たり前実装すべきものと考えられているようである。
- メモリのアクセスに関しては、実行時に表示/書換できるかどうかで対応が分かれた。
- 近年の開発言語がアセンブラではなくC言語になっていることから、ソースコードとアセンブラのmix表示や、C言語レベルでの変数の表示は、もはや必須の機能となっていることが伺える。

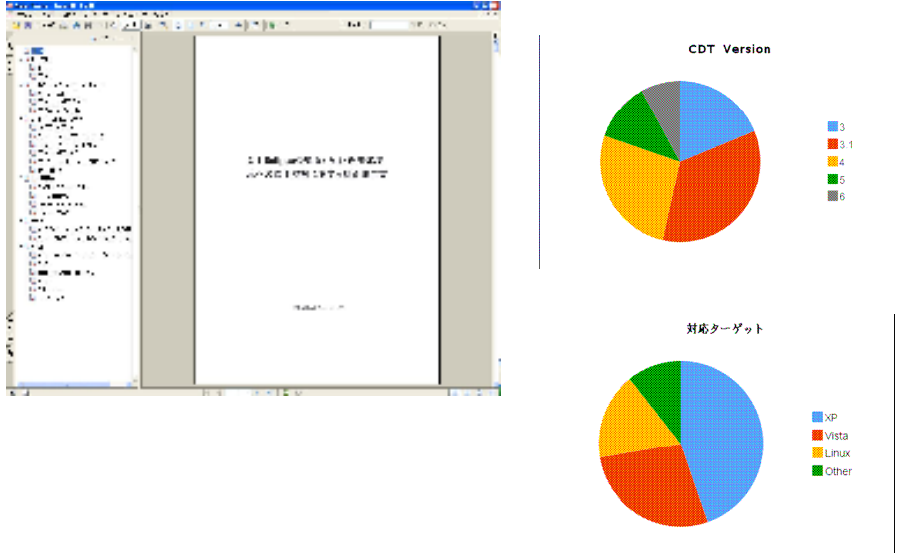
また、市販製品を中心に適合ツール（RAMモニタ）に関して代表的な製品に関して調査を行った。アドバイザーの方々から適合ツール（RAMモニタ）に関する要求ヒアリングを都合2回実施した。結果としては、1線式デバッグインターフェースを採用することで、今までにないRAMモニタとしてのクリアランスの確保と、最小のピン数で高速のモニタリングが実施できる点の評価は高かったと考える。

さらに、デバッグI/Fから見た各社MPUについて調査を行った。

1線式デバッグインターフェースをサポートしている、ルネサステクノロジ製マイコンと富士通セミコンダクター製マイコンに関して、デバッグインターフェースとして提供される機能について調査した。

- 共通的に特徴的な処理としては、デバッグが通常サポートするコードに対するブレークポイント設定を行うような処理の実現について、アクセス条件の設定（イベント）と、それを契機として機能させる設定（トリガ）が汎用化されている点が挙げられる。
- その他トレースデータ、メモリの入出力機能について調査した。

調査報告書の作成



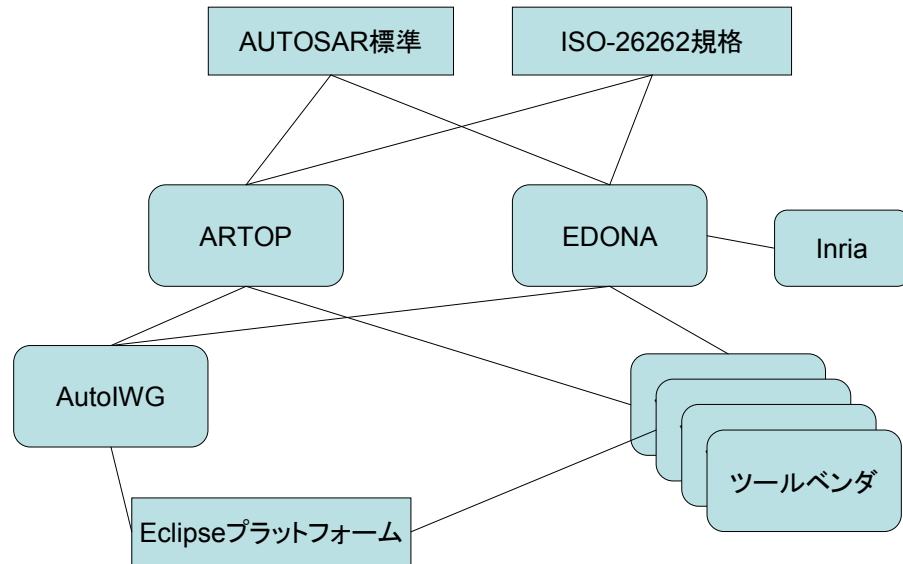
Eclipseはオープンソースプロジェクトの成果物であるため、プロジェクトからは無償でダウンロードすることができ、さらに各社が機能を追加して統合開発環境として提供を行なっている。

Eclipseを採用している国内外の組込みソフトウェア開発環境23製品に対して、採用しているEclipseのバージョンや追加のEclipseプラグイン、および各社の拡張機能の調査を行い、その成果報告書を作成した。

C/C++言語を使用するために必要な環境のバージョンはCDT3系が多い。ただしこの結果はそのまま市場シェアと連動しているわけではない。製品ごとの採用バージョンの調査結果からは、最新バージョンが採用されているわけではないということがわかった。

1製品以外は全てWindowsをホスト環境として用意されている。海外製品を中心にLinuxを対応ホスト環境として用意しているところもあった。

標準化団体のEclipse関連の動向



車載ソフトウェア開発向けの統合開発環境プラットフォームにEclipseを応用するという考え方は、本研究開発独自のアイデアではなく、すでに業界の標準化団体が活動している。このような標準化活動に関して日本における代表的な組織はJasParであるが、残念ながら具体的な成果に結実するような活動は行われておらず、欧州に対して後塵を拝している状況である。そのため、上掲した関連図に日本の標準化団体は含まれていない。

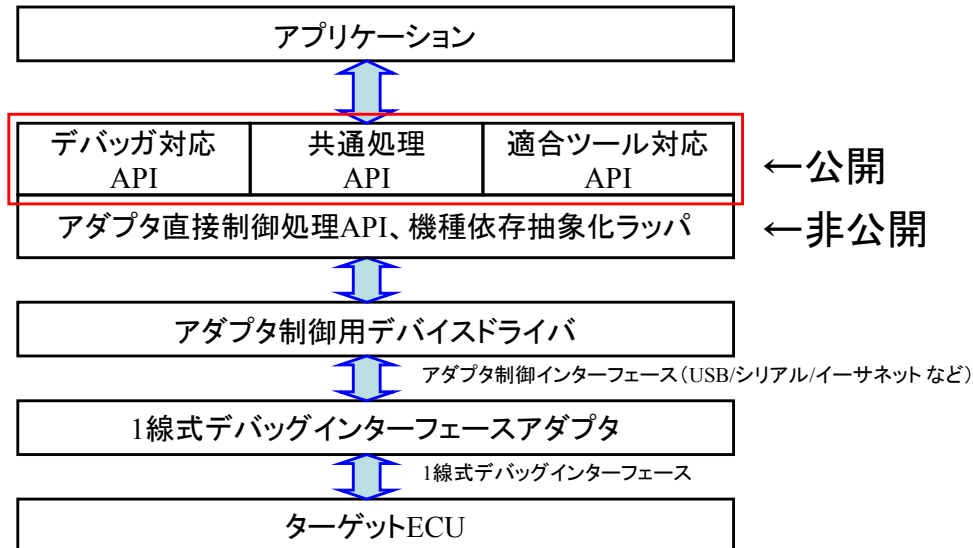
本研究開発の文脈で代表的な標準化団体はARTOPとEDONAである。ARTOPはAUTOSARのユーザグループであり、EDONAも任意団体の扱いであるが、産官学連携の枠組みを利用して事実上の標準を作り上げようとしている。

ARTOPはツールプラットフォームのための中間層レイヤの構築に、EDONAはモデル変換のような理論的なモデルの構築に、それぞれ重きを置く傾向にあるため、競合する部分と協調する部分の二面性がある。

協調できる部分においては、AutoIWGというユーザグループをEclipseファウンデーションを活動の場に据え、重複投資の回避を行っている。

本研究開発の研究開発委員会でのアドバイザの意見には、「日本製自動車関連製品の国際競争力確保のために、日本において類似の活動を望む。」というものがあつた。本研究開発の範囲は動向調査までであるが、日本のツール標準化に関する現状を端的に示す発言なので、ここに付記する。

フレームワーク概要



本研究におけるAPIのフレームワーク、および公開/非公開に関する位置付けを上図で示している。

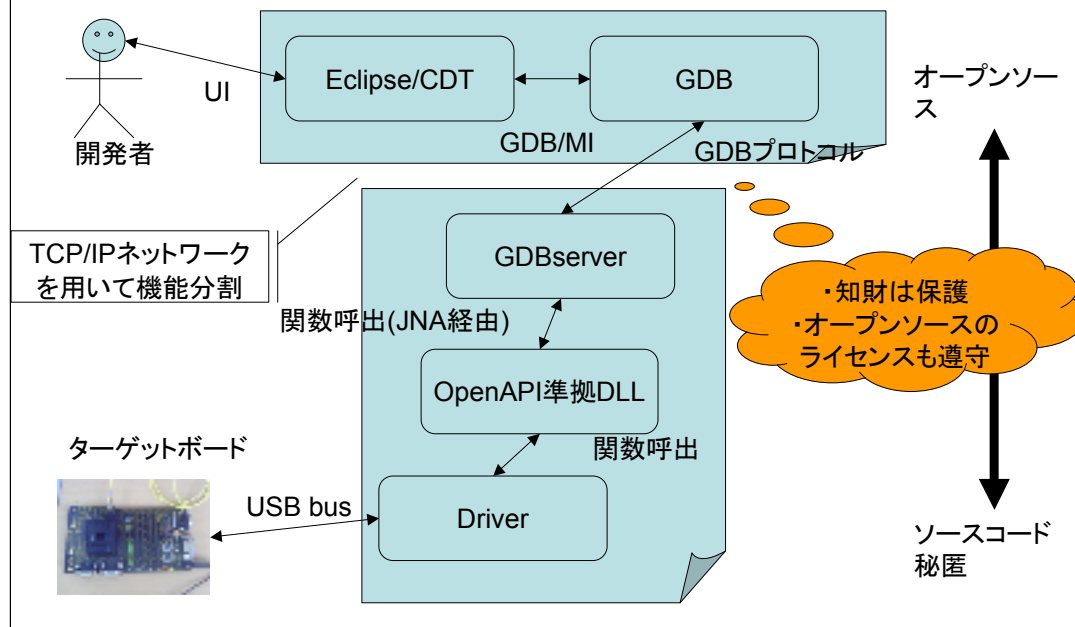
公開レベルのAPIは、アプリケーションとの界面に位置するものであり、共通事項を抽象化したレベルの関数群として定義される。これらはアダプタへの直接的なI/Oを処理する機能と、機種依存となる機能を抽象化して共通処理とさせる機能といった非公開レベルの関数群との連携でアダプタ、およびターゲットへの処理制御を実現するものとした。

このように配置することで、アプリケーション開発者は機種依存に関する情報、および1線式デバッグインターフェースの物理層レベルに関する制御情報を全て熟知することなく、要求されるデバッグ、適合ツールのためのアプリケーションを構築できる。また、半導体メーカー側の守秘相当のI/O処理は非公開となり、誤った制御に関しての保証も実現できる構成である。

なお、検討段階では1線式デバッグインターフェースアダプタとのI/Oについては、USB、シリアル(RS-232C)、イーサネットといった多用なI/Oへの対応も考えられたが、複数台のアダプタへの同時接続も実現可能であり、操作端末を明示的に取り扱っていることがユーザにわかりやすいという観点から、本研究ではUSBインターフェースによる実装を採用し、APIの検証を行うこととした。さらに、ユーザ環境の構築の容易さから、開発ターゲットはWindows上でのDLLにて、APIを提供することとした。なお、仮想Windows環境では、デバイスドライバの動作保証がなされる条件に限り、処理可能であることを前提とする。これは、動作検証作業にかかる工数を取って削減する目的から、このような対応とした。

以上の構成に基づき、「デバッグ機能対応API」、「適合ツール機能対応API」、「適合ツール機能対応API」を策定した。

デバッガの開発



C言語開発に対応したデバッグソフトウェアを開発した。

先に、環境全体の概念図を示す。

今回の研究開発の問題意識としては、デバッグツールの導入コスト増大、デバッグツールへの標準化への課題、以上2点が存在していた。

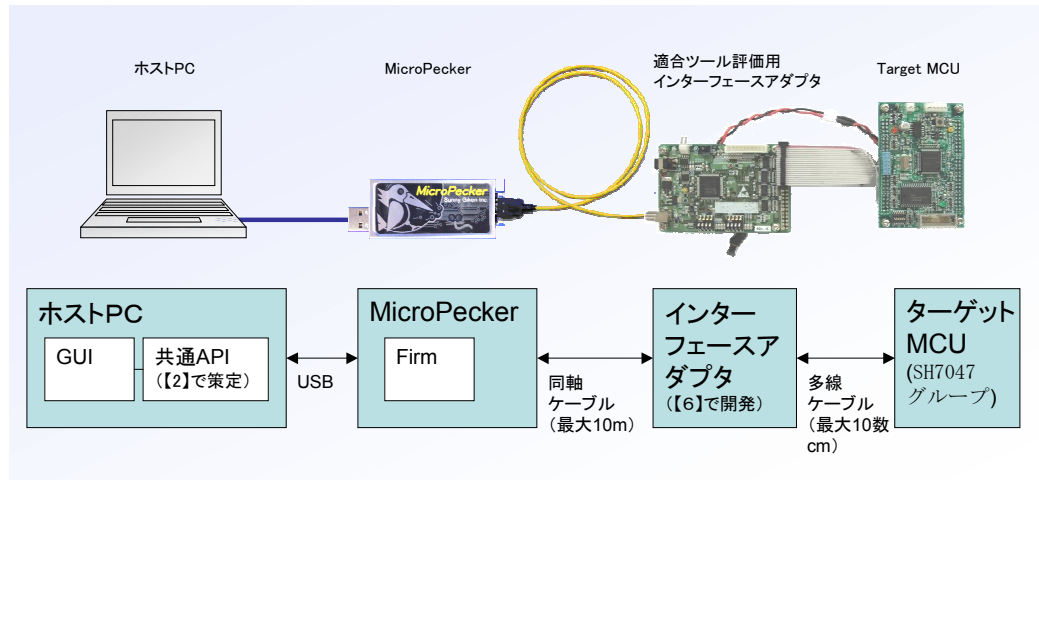
これらを解決するために、オープンソースおよびそれに基づく標準仕様を積極的に活用することが効果的と思われる。

一方、ターゲットボードに搭載されたMPUに関して、知的財産権保護やリバースエンジニアリング回避の要請から、セミコンダクタや自動車系サプライヤには、チップ内のデバッグ情報へのアクセス方法について秘匿したいという要請が根強くある。

このため、オープンソースを利活用しながら、ハードウェアに近い部分では実装を秘匿せねばならない。オープンソース開発環境の事実上の標準であるGNUツール群は、GPLというライセンスに基づき配布されており、単に流用しようとするとは秘匿したい情報の開示が義務付けられる。

つまり、ライセンス上発生する問題を解決するための作業が必要である。本研究開発では、デバッガフロントエンドであるGDBとレジスタ/メモリレベルでの操作を行うバックエンドであるGDBserverに分離し、バックエンド以降を独自ライセンスによりソースコード非公開とした。ネットワークを介することになり構成は複雑化されるが、ライセンスの問題を排除できた。

適合ツールソフトウェアの開発



本サブテーマの研究開発では、RAMモニタ機能を有する適合ツールソフトウェアの開発を行った。

システム構成は上図の通りである。構成の特徴は、サブテーマ【6】で開発したインターフェースアダプタを使用して、ターゲットMCUのもつ機種依存のデバックインターフェースを1線式デバックインターフェースへ変換していることである。この変換により、1線式でバックインターフェースの長所であるケーブル長を活かしターゲットMCUとHost PC間の距離を空けてRAMモニタを実現している。

つまり、従来はターゲットMCUと接続するケーブル長は10数cmが限界であり、ターゲットMCUと隣接する場所にHost PCまたはその代理となるH/Wを設置する必要があったが、インターフェースアダプタで1線式デバックインターフェースに変換することにより理論上は最大10mの同軸ケーブルを使用することが可能となり、配線にゆとりをもってRAMモニタを実施できる。但し、本研究では1mの同軸ケーブルを使用しており、10mでのRAMモニタは今後の研究課題である。

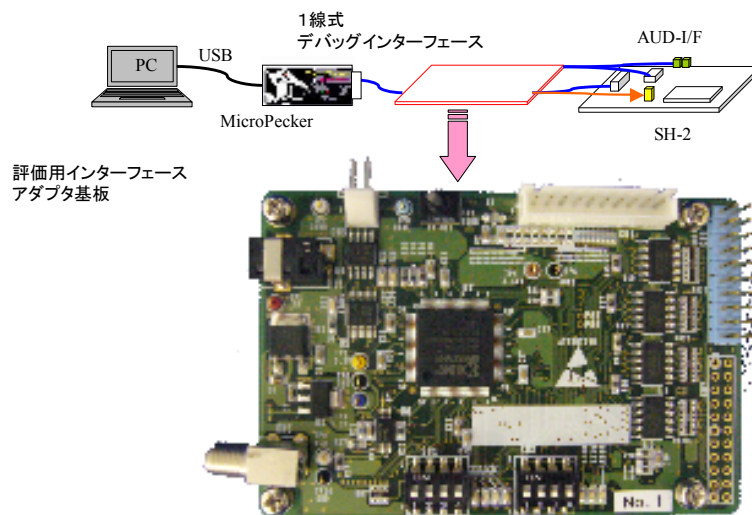
本研究成果としては、GUI、共通API、Firmの開発を行い、サブテーマ【1】で要件定義した64点のRAMモニタの実行、及び、1線式デバックインターフェースをもたないMCUに対象としたRAMモニタを実現できることを確認した。また、RAMモニタの動作中にターゲットのプログラム動作にほとんど影響を与えずにRAMモニタが実施できることを確認している。

なお、本研究の範囲外ではあるが、1線式デバックインターフェースをもつターゲットMCUとMicroPeckerを同軸ケーブルで直接接続して、RAMモニタが実施可能であることの確認も行っている。

製作→テスト

③製作

システム総接続図



適合ツールソフトウェアの評価を行うためのハードウェアを設計製作した。

本開発においては、ハードウェアのプリント基板の設計製造工程については外注した。

仕様について

適合ツールの評価のためには、1線式通信プロトコルとAUD (Advanced User Debugger) とのプロトコル変換が

要求されている。

周辺I/Fについては、将来の拡張機能としてセンサー入力やCANとの連携を想定しており、今回の評価において、直接使用することはない。よって、回路を実装しておくが、本機能自体の動作確認は行わないこととした。

設定SW、ステータスLEDについては、はじめから機能を持たせるのではなく評価に応じて、逐次使用方法を変え

評価時の効率化や評価内容の信頼性向上に役立てた。

製作→テスト

採用部品の選択と製造における部品の納期調査を行い、MCU及びFPGAの周辺回路から設計した。

その成果に基づき、上図に示す評価用インターフェースアダプタ基板を5枚製作した。

評価環境において「適合評価」における1線式シリアルインターフェースとAUDインターフェースとのプロトコル

変換が可能である事が確認できた。

その後、適合ツールソフトウェアの評価に供用した。

研究開発委員会の実施

研究開発委員会 開催実績			参加人数	
No	日付	議題	当事者	外部者
第1回	2009/12/11	事業内容の説明 外部委員各位紹介 外部委員への協力依頼事項 サブテーマ別報告者の決定 委員会の日程決め 外部委員からの質疑・依頼事項	12	13
第2回	2010/1/13	進捗報告 初参加外部委員ご紹介 事象委託元(中部経済産業局)からのご連絡	11	11
第3回	2010/2/10	進捗報告 本事業のPRについての質疑	9	11
第4回	2010/3/17	進捗報告 成果の事業内中間発表についての検討 RAMモニタの動作の紹介	10	8
第5回	2010/4/7	技術検討会の討議内容の報告 進捗報告 今後の展開についての報告および質疑	8	7
第6回	2010/5/10	進捗報告 次期サボインの構想について報告	8	8

上記表のように毎月1回研究開発委員会を実施し、開発状況の進捗報告、および主に外部委員・外部オブザーバー各位のご意見を伺うことにより、半導体メーカー殿、公設試験機関殿、川下ユーザー殿の視点から助言をいただき事業化に向けて本研究および開発内容がより有効なものとなるように努め、研究成果の事業化等の目標に資することができたと考える。

これとは別に、原則として毎月2回技術検討会を実施し、研究者間での開発課題およびその解決方法や実現内容の検討および討議をおこなった。また外部委員・外部オブザーバー各位のご参加をいただくことにより、半導体メーカー殿、公設試験機関殿、川下ユーザー殿の視点等からの助言をいただき、研究成果の事業化等の目標に資することができたと考える。

また、以下に示すツールを使用し研究活動の円滑かつ効率的な運用に努めた。

(a) メーリングリストを設定し、研究者および外部協力者へのメール伝達を
確実かつ効率的に行えるようにした。

(b) 一部サブグループにおいて、Trac/Subversionを使用し、プロジェクト内の
情報共有とバージョン管理を行った。

第3章 全体総括

3-1 研究開発後の課題

本事業における研究では、API 策定ならびに API を応用した実装評価により、規格の有効性について実証されたが、市場に投入するための製品としての完成度までは至っていない状況にある。よって、研究開発後の課題としては、市場投入のための製品化への活動が重要である。

市場投入のためには試作品から製品化に向けての、機能改善、性能改善、利便性向上、品質確保、販促活動など、事業化に向けての活動を実施していく必要がある。

各テーマにおける活動はすべて完了したとはいえ、製品化に向けての補完活動が必要となる。下記に、研究サブテーマ毎の今後の課題について記述する。

(1) 1 線式デバッグインターフェース調査とデバッグ、適合ツール機能検討

適合ツールについての検討については、一般的に入手し得る情報には限界があった。

一方川下ユーザー殿ヒアリングの結果から、具体的な要望等の情報を入手することができたが、潜在的な要求事項等がなお存在することを認識した。

これらに対してより具体的な機能の検討や提案が必要である。

(2-1) Eclipse の調査と組込み開発環境への適用検討

広範な調査により、Eclipse を日本語圏で実用に供するにあたっての課題は、浮き彫りにできた。これらの結果を、Eclipse に興味を持っている各地団体と共有し問題意識を共にすることが今後の課題である。

(2-2) Eclipse プラグインソフトウェアの調査と実装評価

得られた知見や成果を広く共有し、開発環境構築の共通プラットフォームとしての活用を促すための情報発信が今後の課題である。またアドバイザから提示された意見の中にEclipseベースのモデルベース開発ツール、開発補助機能などの具体的な対象も提示されていたこともあり、今後の市場の動向を考慮すると実装評価とこの研究で開発したツールとの連携についても課題として挙げられる。

(3) 組込みソフトウェア開発用共通 API の策定

研究途上において、マルチ CPU またはマルチコア対応について追加検討したが、その規定についてより具体化が必要であるが、本件はマルチコアの CPU の今後の動向を観察しながら、進めていくこととなる。

(4) C 言語開発に対応したデバッグソフトウェアの開発

Eclipse によるデバッグ機能について一通りの機能対応は達成した。しかしながら、サブテーマ (3) で規定した API について一部のものはデバッグ機能としては未実装となった。今後の課題として、API 規定に基づく全機能の実装と実証に加え、1 線デバッグインターフェース対応の別の品種のマイコン対応により検証結果も含め、API の共通化に対する有効性の検証が必要となる。

(5) 適合ツールソフトウェアの開発

表示機能の充実、機能拡張の伴う CPU 負荷の軽減、モニタ容量拡大要求に対応するハードウェア含めた見直し、Eclipse とのより高度な統合化が挙げられる。RAM 書き込み機能については、API の単体検証は完了しているものの、その応用については、アドバイザからのフィードバックが研究期間後半となったため、応用に対応した評価が必要であること、ならびに、1 線デバッグインターフェース対応の別の品種のマイコン対応により検証結果も含め、API の共通化に対する有効性の検証が必要となる。

(6) 適合ツール評価用インターフェースアダプタ開発

インターフェースアダプタ試作については計画通り完了し、動作検証についても想定どおりのものとなった。今回の試作品としては今後の実験用、検証用として有効なインターフェースアダプタ開発は達成されたと考えているが、市場へインターフェースアダプタ機能を投入するためには、機能集約、小型化、耐久性などが課題として残り、さらなる改良が必要となる。

(7) プロジェクトの管理・運営

複数研究主体（委託先、再委託先）による研究となる場合、共同作業を円滑に進めるため、より一層効果的な手法、手段を実施することが挙げられる。

また、付帯的な事務作業についてより効率化し費用削減を図るべきであるとする。

サブテーマとしては、今後の製品化にあたり市場動向、標準化の動向、川下ユーザーの要望等を調査し、それを踏まえて基本的なシステムを実作し検証することがほぼ網羅でき、当初の計画は達成できた。しかしながら、川下ユーザーの要望や潜在的なニーズについての情報収集は十分とはいえない状態であるため、冒頭にも述べたように、市場投入のための活動を進めていくことが重要である。

3-2 事業化展開

本研究の成果を基礎とした事業化展開について、以下の事項について検討し計画および実施を推進していく。

(1) 本研究成果の事業展開

本研究開発による成果を事業化するにあたって、下記展開目標を掲げる。

- ・1 線式デバッグインターフェース対応開発ツール、オプション製品の販売事業
- ・1 線式デバッグインターフェースに対応したカスタムツールの開発事業
- ・1 線式デバッグインターフェースを利用した組込み教育事業

当初は自動車用組込み制御用ソフトウェア開発ツールとして市場開拓を進める。その後、1 線式デバッグインターフェース対応マイコンの民生分野、産業分野への展開、普及により、自動車以外の川下製造業者にも波及していくことが期待される。事業化の具体的な活動について下記に記載する。

・1 線式デバッグインターフェース対応開発ツール・オプション製品の販売事業

1 線式デバッグインターフェースを応用した開発ツールとして、この研究事業で得た成果を製品化していく。特に標準 API によるサードパーティツールメーカ、ユーザーによるソフトウェアのカスタマイズ性、Eclipse という国際的に標準化させた開発プラットフォームへの対応は販売戦略のポイントになると考える。製品を市場へ投入後、浸透状況やユーザーニーズなどを調査、分析した上でオプション製品の開発を進め、機能の充実を図る。まずは自動車分野をターゲットとするが、民生分野、産業分野へマーケティングも同時に進め、新たな顧客開拓にも繋げていく。

・1 線式デバッグインターフェース対応したユーザーカスタムツール開発事業

ユーザーニーズに対して標準ツールの機能拡張を行う場合のカスタム開発や、ユーザー側で標準ツールに機能拡張する場合の技術指導を事業化する。合資会社もなみソフトウェア、株式会社サニー技研は本研究開発を通して、1 線式デバッグインターフェースならびに Eclipse、デバッグ、RAM モニタ、標準 API に関する先行した知見と応用開発技術を有することから、ユーザーサイドで標準 API を使用して開発するよりも、短納期で且つ高品質な製品を提供できることをアドバンテージとする。

・1 線式デバッグインターフェース対応統合開発ツールを利用した組込み教育事業

1 線式デバッグインターフェース対応統合開発ツールを浸透させるためには、本ツールをこれから活用しようとする技術者への教育支援も必要と考える。教育事業については指導者の育成、教材作りなどのインフラ整備が必要だが、マイコンメーカー、大学などの教育機関、サードパーティーとの連携により、教材販売、セミナーを事業化する。

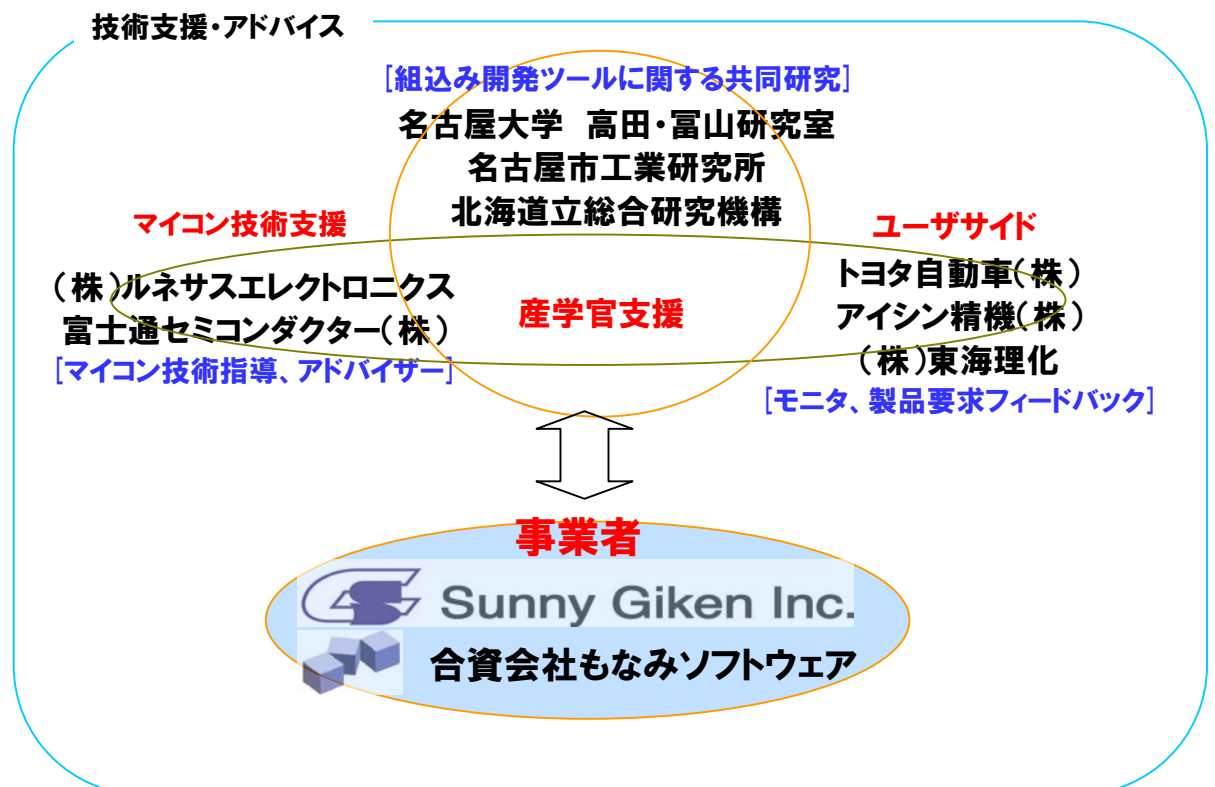
(2) 本研究成果による組込み開発ツール業界の活性化

提案者の事業としては上記 3 つの事業が考えられるが、API インターフェースを公開することにより、1 線式デバッグインターフェース対応統合開発ツールに対応したシステム開発に参画する開発者、サードパーティーが増えることを期待する。こうした取り組みは業界の標準化への布石となるだけでなく、1 線式デバッグインターフェースを備えたマイコンの採用の拡大、対応製品が増加することによる相乗効果が期待できる。

(3) 事業化における体制

本研究開発の研究実施者サニー技研、もなみソフトウェアは本開発の成果を製品として自社の販売チャンネルを通じてユーザーに提供していく。アドバイザーとして研究に参加するマイコンメーカーのルネサスエレクトロニクス（旧：ルネサステクノロジ）、富士通セミコンダクター（旧：富士通マイクロエレクトロニクス）からマイコンに関する技術支援、ならびに、拡販協力を依頼する。自動車メーカーのトヨタ自動車、自動車部品メーカーのアイシン精機、東海理化には製品のモニタ使用を依頼し、要望事項、改善点などのフィードバックを得ることにより、製品の機能、品質を向上させていくための協力を依頼する。組込み開発教育に向けたツール導入については名古屋大学組込みシステム研究センターと連携を行い、製品の品質向上、標準化におけるアドバイザーとして名古屋市工業研究所、北海道立総合研究機構と協力体制を確立する。

下記に事業化（実用化）の実施体制の概略図を記す。

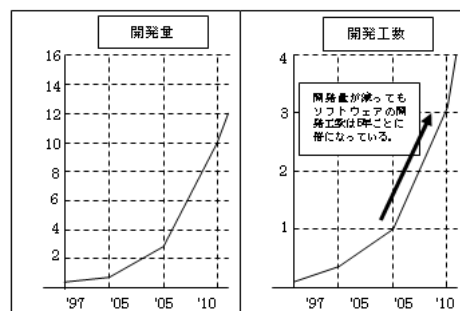


(4) 事業化における販路の開拓

株式会社サニー技研は、これまでに適合ツールやフラッシュプログラマ、インサーキットエミュレータといった開発支援ツールの開発・販売実績を持つ。適合ツールはこれまでに自動車メーカ、自動車部品メーカへ数千台規模の販売実績があり、このチャンネルを活用した拡販が可能である。また、フラッシュプログラマ、インサーキットエミュレータなどのデバッグツールは、国内外の家電製品メーカ、一般産業機器製造メーカへ多くの販売実績がある。これらのユーザからはすでに、1線式デバッグインターフェースに対応したツール開発に関する具体的な問い合わせが増えており、事業化について十分な手ごたえを持っている。合資会社もなみソフトウェアは独自のデバッグ製品におけるチャンネルを有しており、株式会社サニー技研と製品化を進めながら、両者から製品を双方のチャンネルに乗せることにより、製品の拡販、新たな市場を開拓していく。また、本事業におけるアドバイザからのフィードバックを取り入れた製品となることもあり、アドバイザである自動車メーカ、自動車部品メーカからも採用が表明されている。

(5) 事業化の展望

一台の自動車に搭載されるマイコンの数量は省エネ対策、環境対策、快適性の向上を背景に拡大することは確実である。今日、高級車において約60個～100個のマイコンが搭載されているが、この数量が減少することではなく、プログラム開発量は本ツールが必要となる2～3年後は2倍に達するものと予測される。すなわち自動車用組込みソフトウェア開発における工数が拡大することは、本ツールと同等の機能のものを2倍用意する必要がある。ただし現状の提供方法ではツールが高価となるため、これまでの2倍の数量のツールを揃えるというのは開発側にとっては、更に困難になることが予測される。これまで以上に開発コストを低減させるためには、1線式デバッグインターフェースに対応したマイコンの採用と安価なツール採用は有効な解決手段である。マイコンの供給については、国内マイコンメーカーから1線式デバッグインターフェースを搭載したマイコンの製品化を表明している。この1線式デバッグインターフェース規格についてはJASPARで標準化を公表しており、国内マイコンメーカーが追従する方向にある。今後事業化に際して研究成果から市場に投入できる製品化への活動期間が半年～1年必要だが、1線式デバッグインターフェース規格対応のマイコンの拡充とも期間的に同期しており、製品が市場に投入されるころには、十分な市場が確保されていると考える。合資会社もなみソフトウェア、株式会社サニー技研は製品はこの市場に対して早期に製品を市場に送り出し、その後の製品展開とともに先行的に改善活動を重ね市場に追従していく。



自動車用組込みソフトウェア開発量の増加推移
(自動車メーカーHPからの一部引用)

リサイクル適性 (A)

この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。