

平成24年度戦略的基盤技術高度化支援事業  
「組込みシステムにおける性能設計評価ツールの研究開発」

## 開発成果報告書等報告書

平成25年3月

委託者 近畿経済産業局

委託先 公益財団法人新産業創造研究機構

目次	頁
<b>第 1 章 研究開発の概要</b>	<b>1</b>
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-2 研究体制	4
1-3 成果概要	6
1-4 当該研究開発の連絡窓口	8
<b>第 2 章 本論一性能設計モデルの研究開発</b>	<b>9</b>
2-1 性能要求定義手法の研究	9
2-1-1 手法検討	9
2-1-2 設計	11
2-1-3 分析	12
<b>第 3 章 本論一性能設計評価ツールの開発</b>	<b>14</b>
3-1 性能設計評価ツールの研究開発	14
3-1-1 要求定義	14
<b>第 4 章 本論一実証実験</b>	<b>17</b>
4-1 性能設計モデルの評価	17
4-1-1 実証実験環境の構築	17
4-1-2 実証実験	17
<b>第 5 章 本論一特許</b>	<b>19</b>
<b>第 6 章 本論一プロジェクトの管理・運営</b>	<b>20</b>
6-1 プロジェクト管理	20
6-1-1 研究開発委員会	20
<b>第 7 章 全体総括</b>	<b>21</b>

# 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

<イメージ図>

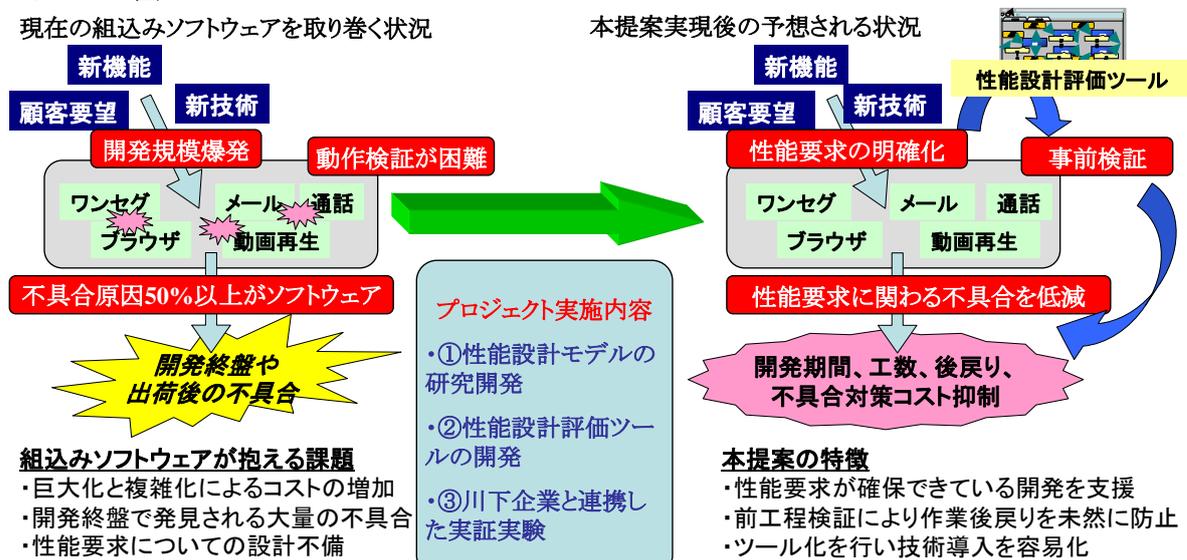


図1-1-1プロジェクトイメージ図

### <組込みソフトウェアを取り巻く状況>

日本の組込みシステム開発は国際競争力の低下が懸念されている。日本が得意としたデジタル家電製品の販売比率も、アジア圏発の海外メーカーに押されており、日本の家電メーカーではものづくりの再検討が求められている。そのような状況に陥っているのは、開発現場での経験や暗黙知によって開発が進められること、開発製品が多いこと、開発規模が大規模化や複雑化したこと、組込みシステム開発技術者が不足していること、などが原因である。情報家電では求められる機能が増大したため、搭載するソフトウェアのコード量が増大し、結果として一つのシステムに搭載されるソフトウェア部品は莫大な数となっている。携帯電話を例に取れば 200~300 のソフトウェア部品が同居している。そのためにソフトウェアの品質問題や、性能問題が起きている。

ソフトウェアの品質問題は一般的にコードレビューなどの手法で解決することもできるが、性能問題はソフトウェア部品の結合後に発見されやすい。なぜなら、これらのソフトウェア部品は一つのハードウェア資源を共有しながら同時に動作するので、一つのソフトウェア部品の実行が他のソフトウェア部品の実行を遅らせる原因になる。性能問題が発生すると、ソフトウェア部品の再設計を余儀なくされるため、開発工程が再度行われる。結果として、開発コストの増大と、開発期間の延長をもたらすため、性能問題解決の方法が必要である。

さらに、日本における組込みソフトウェア開発において憂慮すべき状況が進行している。経済産業省の「組込みソフトウェア産業実態調査」によれば、組込みシステム開発プロジェクトにおける、組込みソフトウェアに起因する不具合の発生率は 2009 年調査では約 50% となっており、組込みソフトウェアの開発が困難を極めていることを裏付けている。また、組込みシステムへの新機能、新技術の導入により、組込みソフトウェアの総ソースコード数は 2009 年度調査で平均 181 万行と巨大化の傾向にあり、開発費用の増加と不具合発生増加につながる要因となっている。

我々は組込みソフトウェア開発における、性能問題に着目し、この問題を解決するために、性能設計評価ツールを提案する。

### <本研究開発の実施内容>

組込みソフトウェア開発の問題点を下記にまとめる

- ・技術者の暗黙知による開発や技術者不足が、組込みソフトウェア開発技術の高度化を阻害。

- ・ソフトウェア規模の増大により、ソフトウェア部品の性能問題に起因する不具合が顕在化している。
  - ・組込みソフトウェアの不具合発生による開発コストの増加。
- 我々はこのような状況に陥っている原因を解消するために、課題定義とその対策検討を提案する。

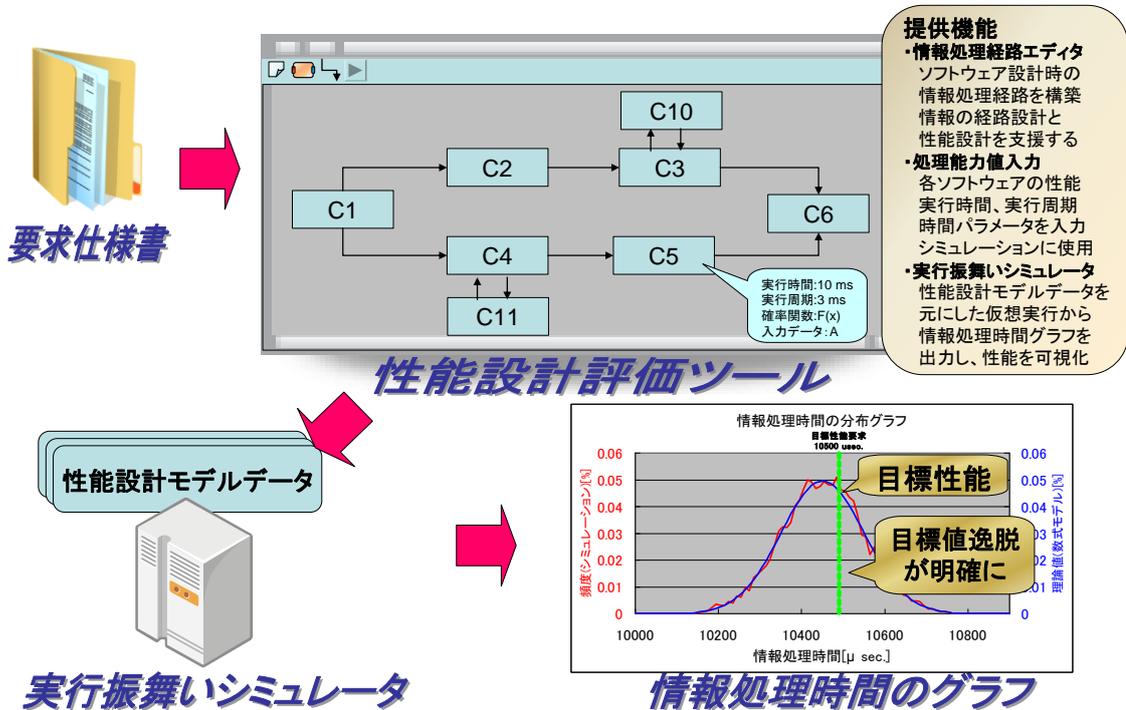


図 1 - 1 - 2 提案内容の概念図

本提案では、「組込みシステムにおける性能設計評価ツール」を実現させ、組込みソフトウェア開発の課題を解決し、コスト抑制、生産性の向上、品質保証、を実現する。また、組込みシステムにおける性能設計評価ツールを用いた実証実験により、本提案の効果を明確にする。

組込みソフトウェアにおける性能とは、ある単位時間内に情報処理できる能力を指す。また、情報処理とは、データを入力し、何らかの処理を行い、出力するまでの一連の流れを指す。よって、本提案では組込みソフトウェアの性能の定義を、情報処理の開始から終了までの時間とする。

## サブテーマ 1：性能設計モデルの研究開発

### 1-1：性能要求定義手法の研究

組込みシステム内の構成要素(コンポーネントと呼ぶ)において必要な性能のモデル化とこれを使った性能評価手法を研究する。性能モデル化に必要なデータには入力データ、応答時間、処理時間、ジッタ、ジッタの確率、周波数、共有資源の利用方法などを検討し、性能要求の定義化手法を考案する。

### 1-2：性能設計評価手法の研究

性能要求を元に、組込みソフトウェアの性能要求を検証する。仮想的に実行されるシミュレーション環境を用いて、情報処理時間を出力する。

## サブテーマ 2：性能設計評価ツールの開発

### 2-1：導入を容易にするためのユーザーインターフェースの開発

上記、性能設計モデルの構築を支援し、シミュレーションで性能解析するツールを開発する。

### 2-2：機能連携機構の開発

性能設計モデルを構築しながら、ソフトウェア設計仕様が策定できるなど、開発工程を支援する連携機能の開発を実施する。

## サブテーマ 3：川下企業と連携した実証実験

### 3-1：性能設計モデルの評価

### 3-2：性能設計評価ツールの実証実験

川下企業の協力のもと、現行製品、もしくは試作品へ本成果物を搭載する実証実験を実施する。性能設計モデルを家電、制御システムなどのアプリケーションで実証し手法の有効性を検証する。さらに、そのモデルをライブラリとして蓄積する。

### <本研究の効果と目標>

組込みシステムにおける性能設計評価ツールを用いた開発では、性能要求に起因する不具合を抑制できる。そのため下記のような効果を目指す。

現在の組込みシステムにおける、組込みソフトウェア開発に関わる工数(合計100)



提案実現後の組込みシステムにおける、組込みソフトウェア開発に関わる工数(合計82)



図1-1-3 具体的目標値

#### ・組込みソフトウェア開発期間を2割短縮

上図に示すように組込みシステムにおける、組込みソフトウェア開発の一般的な開発時間比率は、現在50%近くを占めている。特に試験に関わる部分の時間比率が多いことがわかる。本研究開発の成果である性能設計評価ツールを用いることで、ソフトウェア要求定義工程の時間は現在の3倍ほどの時間を見込むが、後の工程での不具合抑制や、検証作業の実施しやすさを考慮する。よって我々は現在の開発時間から2割低減することを目指す。

#### ・組込みソフトウェア開発における、性能要求に関わる不具合発生数を現在の10%未満

また、不具合の原因となる、性能要求の未履行が設計工程の事前検証で、未然に防がれるために、具合の発生数を従来から9割程度抑止することを目指す。

#### ・組込みソフトウェア開発費を1割削減

開発工程の適切な運用により、開発期間の短縮が実現できる。開発期間の短縮の効果により、組込みソフトウェア開発における開発費用を1割程度削減することを目指す。

提案者らの経験では、携帯電話システムの3カ年の開発の中で、1年間が性能改善のための活動に費やされた例もあるため、本提案内容が実現された場合には、開発期間を3割程度改善することが見込まれる。また、別のデジタル情報家電の中で、映像再生のための性能改善に数ヶ月の納期遅延が発生したことがあるが、性能設計評価ツールを活用することで、このような性能改善に関わる業務にて、劇的な効果を生むものと予想される。

## 1-2 研究体制

公益財団法人新産業創造研究機構が事業管理者となり、兵庫県立大学、株式会社ヴィッツ、株式会社きじねこが再委託先となる体制を組んだ。図 1.2.1 に体制を示す。また、川下企業として、本開発システムのエンドユーザである、パナソニック株式会社、パナソニックアドバンステクノロジー株式会社、船井電機株式会社、株式会社デジタルにアドバイザーとして、実際の動作環境や最終ユーザのニーズなど幅広く情報提供を依頼している。

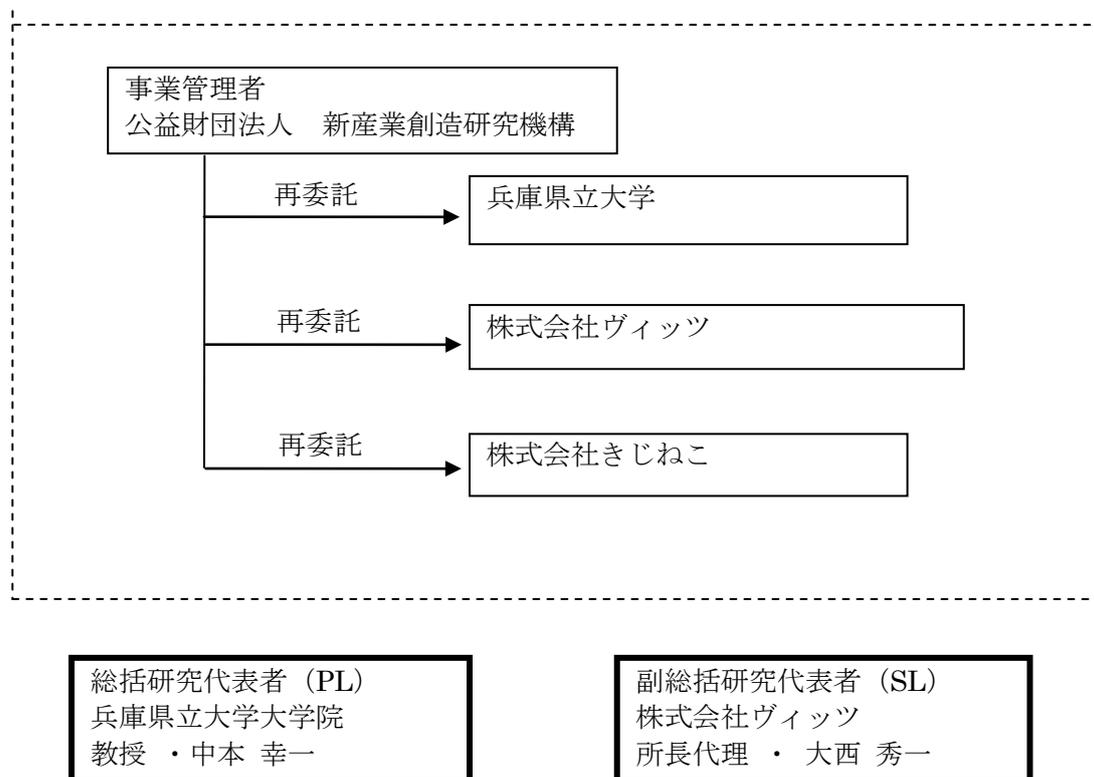


図 1-2-1 研究体制

兵庫県立大学は、プロジェクト全体を俯瞰する研究開発のリーダー的役割を担う。研究専門領域である組込みソフトウェアの知識を十分に活用してプロジェクトの円滑な推進を担う。

株式会社ヴィッツは、研究開発プロジェクトの手法検討および、ツールの開発を担う。手法検討では、株式会社ヴィッツが過去に開発してきた組込みソフトウェアの知識を十分に活用し、性能設計手法を検討する。また、性能設計ツールの開発では、ソフトウェア開発の経験を生かし、ツール開発を担う。

株式会社きじねこは、組込みソフトウェア開発支援用のソフトウェアの開発経験を生かし、性能設計ツールの GUI 構築を担う。

各参加機関の研究員と担当サブテーマを以下に示す

研究開発項目	報告書章番号
①性能設計モデルの研究開発	第 2 章
②性能設計評価ツールの開発	第 3 章
③川下企業と連携した実証実験	第 4 章
④プロジェクトの管理・運営	第 5 章

公益財団法人新産業創造研究機構

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
中土 宜明	神戸ロボット研究所 所長	④

兵庫県立大学

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
中本幸一	応用情報科学研究科・教授	①②③

株式会社 ヴィッツ

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
大西秀一	組込制御開発部 大阪事業所所長代理	①②③
鵜飼敬幸	組込制御開発部 チーフエンジニア	①②③
水野智仁	組込制御開発部 グループリーダー	①②③
渡邊友裕	組込制御開発部	①③
後藤孝一	組込制御開発部	②③
工藤僚平	組込制御開発部	①③
原田菜美子	組込制御開発部	②③
平田 恵	組込制御開発部 チーフエンジニア	①③
平林邦章	組込制御開発部	①③
深見修一郎	組込制御開発部	①③
丹家 廉	組込制御開発部 チーフエンジニア	①②③
藤井佑斉	組込制御開発部 チーフエンジニア	①②③
小川貴章	組込制御開発部	①③
徳安訓光	組込制御開発部 グループリーダー	①②
荒川まり子	組込制御開発部	①②③
橋本昌伸	組込制御開発部	①②
熊田雄也	組込制御開発部	①②
兼松由佳	組込制御開発部	①②③
樋田裕基	組込制御開発部	①②
土居優太	組込制御開発部	①②③

岡本 亨	組込制御開発部 チーフエンジニア	①②
成瀬 悟	組込制御開発部	①②

株式会社きじねこ

氏 名	所属・役職	実施内容 (番号)
高木 信尚	代表取締役	②③

【アドバイザー】

氏 名	所属・役職
梶本 一夫	パナソニック株式会社・本社R&D部門 システムエンジニアリングセンター 所長
水野 勇介	パナソニックアドバンステクノロジー株式会社・ 第二システム研究所 所長
錦織 義久	船井電機株式会社・開発技術本部 扇町分室 技師長 平成 23 年 11 月 1 日より、下記に転籍 フリースケール・セミコンダクター・ジャパン株式会社 技師長
武田 英幸	船井電機株式会社・開発技術本部 扇町分室 主任技師
大柳 典生	株式会社デジタル・開発本部技術開発部 部長

### 1-3 成果概要

組込みソフトウェアは、複数のソフトウェア部品から構成されるものとする。本研究提案ではこれをコンポーネントと呼ぶことにする。ソフトウェアコンポーネントはあるまとまった機能を提供する単位で、複数のタスクとデータから構成される。ソフトウェアコンポーネントはコンポーネント間のデータ通信、あるいは機能呼び出しで結合されるものとする。

本研究では、映像再生機能を有する携帯端末を用いて、コンポーネント間の性能設計・評価を行う手法とツールを、以下のサブテーマに分けて研究開発を行う。

#### サブテーマ 1：性能設計モデルの研究開発

要求定義工程で策定される、非機能要求の定義方法として、性能要求の定義手法を確立し、性能要求定義の正確性、妥当性を検証するための手法として、実行振舞いシミュレータを用いて、性能情報を可視化する。

##### 1-1：性能要求定義手法の研究

コンポーネントに対する性能要求を記述する方式を研究する。組込みソフトウェアは時間駆動型、イベント駆動型に大別され、性能要求はこの分類で大きく異なる。前者には実行周期、デッドライン、ジッタ、後者には平均実行時間、実行時間のジッタ、実行時間の確率分布が考えられる。ここでは携帯端末のアプリケーションの機能で、イベント駆動型の映像再生機能を例にとり、性能要求定義を検討する。

##### 1-2：性能設計評価手法の研究

組込みソフトウェアの性能を支配する要因は以下のように分類する。

E1. コンポーネント間の通信(タスク間メッセージ通信、共有メモリ同期通信、ネットワークを介したタスク間通信など)

E2. コンポーネントが処理を行うのに必要な共有ハードウェア資源、ソフトウェア資源の分配方法(CPU 周波数、CPU 時間、メモリなどの単位時間当たりの利用率、利用できる時間周期、タスクのスケジューリング方式など)

E1 はコンポーネントが処理を行うに際してプログラム部品で明示的に表わされる。一方、E2 はパラメタの設定などプログラムでは明示的に現れない情報である。本手法の性能設計では、まずプログラムの処理をコンポーネント間の相互作用 (E1) のみで設計記述を行う。次に、実行パラメタ (E2) を設定して、シミュレーション実行する。この場合に、平均実行時間、実行時間のジッタ、実行時間の確率分布を与える。このシミュレーションによりコンポーネントに課せられた性能要求を満足するかどうか調べ、性能要求が満足できない場合は、コンポーネントの性能設計を再度行う。サブテーマ 1 では、E1 と E2 を記述するための実行モデルとこれをシミュレーション実行するソフトウェアシミュレータを研究開発する。映像再生機能を例にした場合の実行モデルの記述イメージを下図に示す。

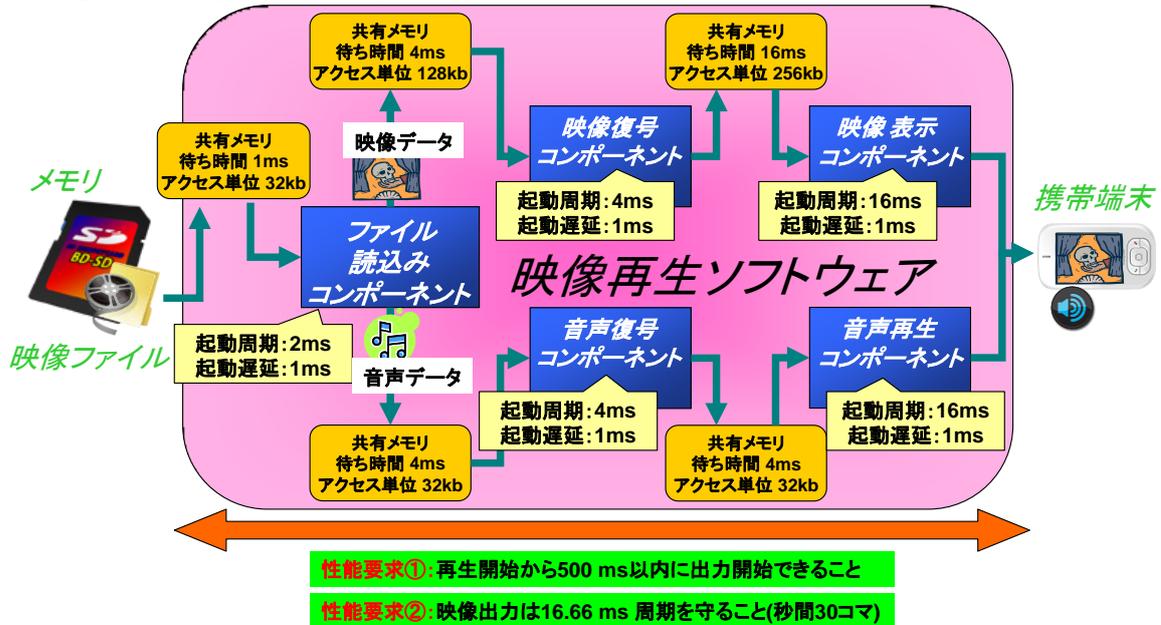


図 1-3-1 動画再生ソフトウェアの概念図

ここでの設計手法は「性能設計駆動型」設計ともいうことができ、ソフトウェア開発者が通常性能上の設計意図を明示化するものである。

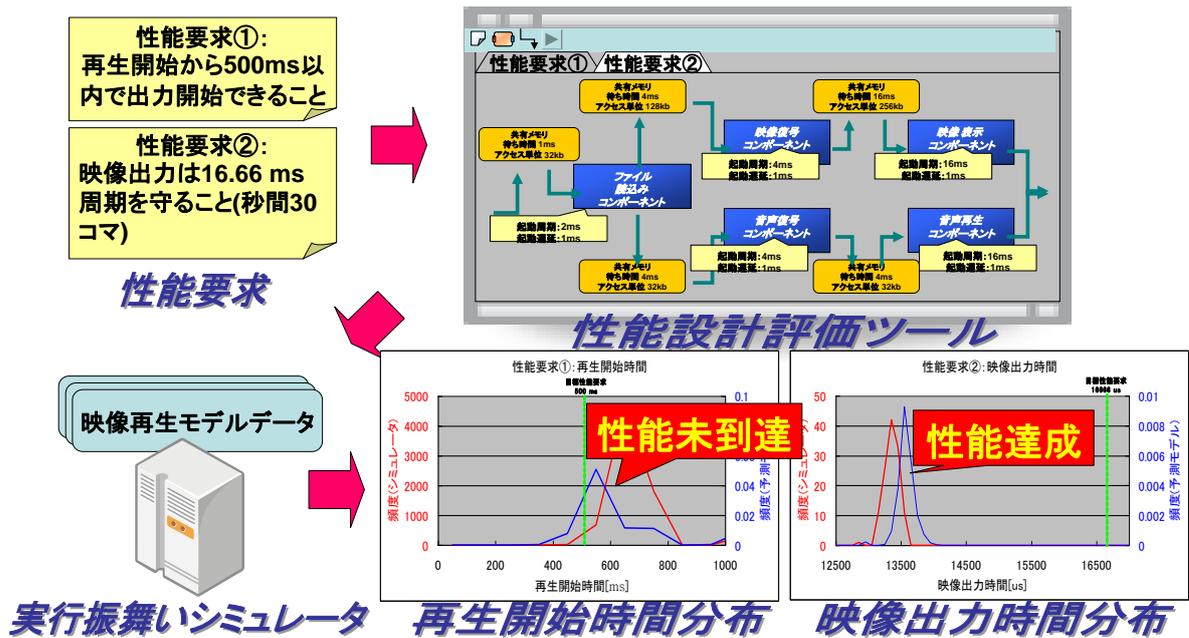


図 1-3-2 動画再生ソフトウェアの概念図

サブテーマ 2 : 性能設計評価ツールの開発

## 2-1：性能設計評価ツールの開発

サブテーマ 1 で研究開発したモデルを、容易に利用可能することができるようにするために、グラフィカルユーザインタフェースをもった性能設計評価ツールを開発する。設計ツールは以下から構成される。

- ・実行モデルを記述するグラフィカルエディタ。
- ・実行モデルを実行する実行振舞いシミュレータ。
- ・実行した結果を表示し、実行時間をもっとも要するボトルネックなどの情報を利用者に提供する解析ツール

## 2-2：機能連携機構の開発

1-2 の実行振る舞いの記述には、UML のシーケンス図、状態遷移図などの動的モデリング記法、あるいはプログラミング言語の利用が考えられる。機能連携機構では、既存 UML ツールやプログラミング環境との連携機構を開発するものである。また、設計された実行モデルは、プログラム実装のスケルトンになりうる。そこで実行モデルの設計からプログラム実装を容易化するために、モデルから C などのプログラムや OS の実行パラメータを生成するジェネレータを開発する。ソフトウェア開発者は生成されたプログラムの具体的処理を記述することによりプログラムを実装する。

## サブテーマ 3：川下企業と連携した実証実験

サブテーマ 3 では本性能設計評価ツールの評価を川下企業と連携して、実際の情報家電、携帯端末などの組込みソフトウェア開発に利用することで評価する。実証実験は大きく 2 つにわかれる。

### 3-1：性能設計モデルの評価

サブテーマ 1 で研究開発した個々の実行モデルの妥当性を川下企業に評価を共同作業で行う。

### 3-2：性能設計評価ツールの実証実験

サブテーマ 1, 2 で研究開発した性能設計評価ツールを、携帯端末の映像再生組込みソフトウェア開発に適用して評価する。

関連研究との比較

ソフトウェア性能検証モデルには、待ち行列などの確率的モデルや時間ペトリネットによる時間確定的モデルに分類され、これらの手法を利用する性能評価ツールも存在する。前者は平均性能を扱うのに対して、後者は最悪時の性能に扱う。これらはいずれも振舞い記述に特化した記法と性能評価手法である。本研究提案は、プログラム実装で記述されるタスク間同期通信による振舞いや使用する資源をソフトウェア設計段階に前倒して記述し、シミュレーションによる評価する点が特徴である。

## 1-4 当該研究開発の連絡窓口

氏名：中土 宜明

所属・役職：公益財団法人 新産業創造研究機構 神戸ロボット研究所 所長

住所：〒650-0047 神戸市中央区湊島南町 1 丁目 5 番 2

電話：078-306-6802

Fax：078-306-6812

E-mail：nakatsuchi@niro.or.jp

## 第2章 本論－性能設計モデルの研究開発

### 【概要】

組込みシステム内のソフトウェア構成要素において必要な性能要求のモデル化とこれを使った性能評価手法を研究する。

性能要求のモデル化に必要なデータには入力データ、応答時間、処理時間、ジッタ(時間的なズレや揺らぎ)、ジッタの確率、周波数、共有資源の利用方法などを検討する必要がある、これらの事項を記述するための性能要求定義化手法を考案する。性能要求定義化手法では、性能モデルの検討を行い、性能要求モデルを試作しモデルの整合性の確認が必要である。性能要求モデルがある程度の確かさで記述することが可能となれば、性能要求定義を行うことが可能となる。また性能要求定義を元に、組込みソフトウェアの性能要求を検証する。仮想的にソフトウェアの振る舞いをシミュレーションする実行振舞いシミュレータを用いて、情報処理時間の出力を目指す。

サブテーマ「川下企業と連携した実証実験」の実証実験の結果を元に、性能設計モデルの精度向上を目指す。また、家電メーカーや産業機械メーカーからのヒアリングを元に、より現実の製品に近い性能設計モデルの構築が可能な性能要求定義の手法を検討する。

最終的に、大規模化、複雑化している組込みソフトウェアを視野に入れた性能設計モデルを計画し、性能設計評価ツールに組み込むことを目指した。

### 2-1 性能要求定義手法の研究

コンポーネントに対する性能要求を記述する方式を研究する。組込みソフトウェアは時間駆動型、イベント駆動型に大別され、性能要求はこの分類で大きく異なる。前者には実行周期、デッドライン、ジッタ、後者には平均実行時間、実行時間のジッタ、実行時間の確率分布が考えられる。ここでは携帯端末のアプリケーションの機能で、イベント駆動型の映像再生機能を例にとり、性能要求定義を検討する。

性能要求定義手法の研究では、性能設計モデルの検討をから開始する。同種の問題や、参考となる文献との比較により、過去に取られてきた性能問題に対するアプローチから、有効な性能設計モデルを検討し、複数の性能設計モデル案を提示する。

次に、性能設計モデル案のなかから有望なものを取り出し、性能設計モデルの試作を行う。ここでは、例題的に性能設計モデルを記述することを想定している。性能設計モデルが正しく記述されているかを確認するために、「実行振舞いシミュレータ」のアルゴリズムを検討する。ここで検討した「実行振舞いシミュレータ」のアルゴリズムはサブテーマ「性能設計評価ツールの開発」に引継ぐ。また、性能モデル試作において、「データ計測機器」「時間計測機器」を用いて、データ転送量の計測と、コンピュータによる処理時間の計測を行った。

性能モデルがある程度の確かさであることを確認し、性能要求定義を具体化し、性能モデルを構築するための指針である、性能要求定義仕様書を策定した。

#### 2-1-1 手法検討

##### 2-1-1-1 (1) 3年間の目的と目標

組込みソフトウェアにおいて性能要求を情報化し、ソフトウェア実装前に性能要求が満足できるかを事前検証可能とする手法の検討を行う。その結果、異なる分野ごとに適した検証方法を見出すことを3年間の目的とした。

<研究成果>

#### ○ 性能評価手法の調査

平成 22 年度に調査を行った性能検証の手法は下記の 4 つである。

1. タイムペトリネット
2. SPE (Software Performance Engineering)
3. 待ち行列
4. MARTE

上記手法について、

- ・ どのような手法か
- ・ 既存の開発支援ツールは存在するか、またその機能は

を調査した。

#### ○ 検証手法の選定

本研究の課題としては下記の 2 つである。

1. 明確な性能要求を確保した開発
2. 不具合解決手法の開発と解決コスト軽減

SPE を調査したところ、本手法は“上記 2 つの課題を解決するためのフレームが揃っており”、また、“リアルタイムシステムへの適用事例”が存在することから“SPE”の手法を用いることとした。

#### ○ SPE

SPE はシステムアーキテクチャ・設計・実装における問題点を、モデルを用いて明らかにする。これらのモデルを用いて対象のソフトウェアが性能目標を達成できるかをフィードバックしながら解決する。モデルの精度はリソースへの要求の見積りの質に依存する。リソースへの要求が不確かな場合、数値の上限と下限の見積もりを使用して、最善と最悪のケースの性能の予測をする。モデルの精度を上げるために、プロトタイプの構築や主要なリソースへの要求の計測を行う。

ソフトウェア実行グラフは、ソフトウェア単体の平均、最高/最悪時の応答時間や単位時間あたりの応答回数を求めるために、シーケンス図より作成するグラフである。

ソフトウェア実行グラフは各シーケンス図に対して構築され、ノードと呼ばれる処理ステップを表現する物と、アークと呼ばれるノード同士をつなぐ矢印で構成される。

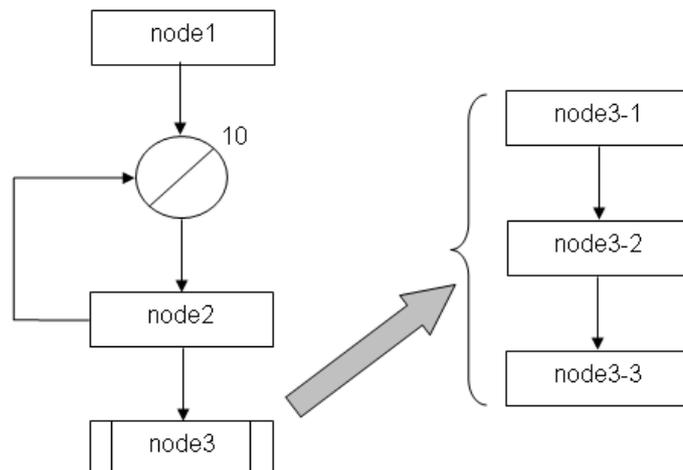


図 2-1-1-2 ソフトウェア実行グラフ記述例 1

### ○ 性能設計手法の改善

性能設計手法にはリアルタイムシステムで処理遅延の大きな要因となりうる、同時実行処理や待ちについて検討しきれていない部分があった。これらの要因を設計時に事前に検討することが出来るための手法に関して調査/検討を行った。

### ○ 手法の適用事例の範囲の拡大

当初は対象領域が家電のみであったため適用範囲を広げ、ロボットアームでの性能設計方法に関する調査を行った。また、“SPE”の性能設計手法ではハードウェアの観点が足りていなかったため、Matlab/Simulink を用いて、ハードウェアの情報を含めた性能設計を行っている。

### ○ 性能設計手法の精度向上

適用範囲を家電の動画再生システムに限定し、性能設計モデルの信頼性をより向上させていく。また、設計手法に関して解決していない課題(処理時間に影響が大きい情報の洗い出しと適用方法の検討)について検討/対応を行った。

### ○ 様々な機器の性能設計モデルの試作/実証実験

動画再生端末についてモデルの試験検証を行ってきたが、一つの端末でしか試作を行っていない。実用化を考えた場合、様々な種類のハードウェア環境にてモデルを適用できることが望ましい。従って性能の異なる様々な端末においても同様のアルゴリズムを用いてモデルを作成し、性能設計を行うことが可能であるか性能設計モデルの検証を行った。

## 2-1-2 設計

### 2-1-2-1 3年間の目的と目標

組込みシステムごとに適した事前検証手法を検討し、モデル記述方法の策定を行う。その結果、要求分析と設計工程において、実装とテストの時間を削減できるような、有効性の高いモデル記述の定式化を行うことを3年間の目標とする。

### 2-1-2-2 研究実施内容

#### ○ SPE検証手法適用

SPEのフレームワークを用いて、検証対象システムをモデリングランゲージにて記述を行った。SPEにて事前検証を行うために必要な検証モデル作成までの手順は下記の通りである。

1. 検証対象のシステムの外部から求められる機能的な要求を明確にするため、ユースケース図にて記述を行う。
2. 検証対象のシステムの処理シーケンスをシーケンス図にて記述を行う。
3. シーケンス図をソフトウェア実行グラフに変換する。
4. ソフトウェア実行グラフにて処理性能に大きく影響する部分のリソースについて検討を行い、処理時間を見積もるために必要なリソースパラメータを決定する。

調査結果は、サーバにアップするようにし、作業員全員で情報共有できるよう、効率化を図った。

#### ○ 手法の適用事例の範囲拡大

検証対象を家電から産業機械に応用し、SPEのフレームワークとMatlab/Simulinkの機能を用いて性能設計を行った。検証を行うまでの手順は下記の通りである。

1. 検証対象のシステムの処理シーケンスをシーケンス図にて記述を行う。
2. シーケンス図をSPEのフレームワークを用いソフトウェア実行グラフに変換する。
3. ソフトウェア実行グラフにて処理性能に大きく影響する部分のリソースについて検討を行い、処理時間を見積もるために必要なリソースパラメータを決定する。

4. 3の作業と並行して、ソフトウェアがハードウェアに入力する信号やロボットアーム自身の性能を考慮し検証対象をMatlab/Simlinkを用いてモデル化する。

ソフトウェア実行グラフにて処理性能に大きく影響する部分のリソースについて検討を行い、処理時間を見積もるために必要なリソースパラメータを決定する。

調査結果は、サーバにアップするようにし、作業員全員で情報共有できるよう、効率化を図った。

#### ○ 設計手法の精度向上

設計手法を商用で使用できるレベルまで精度を向上させるため、検証対象を動画再生ソフトウェアに限定した。そして、動画再生ソフトウェアにおいて処理時間に大きな影響を与える入力データである動画ファイルの情報を性能設計に組み込めるようにした。検証を行う迄の手順は下記の通りである。

1. 入力となる離散データよりフレーム毎の映像ビットレートを抽出し、そこから平均値を算出する。
2. 離散データの影響を受けるソフトウェア実行モデルのノードに重みを設定する。
3. 使用する離散データと処理時間の関係式を決定する。
4. 入力した離散データからばらつきに関する確率を算出し、シミュレートを行う。
5. シミュレート結果より離散データの影響を加味した処理時間を求める。

調査結果は、サーバにアップするようにし、作業員全員で情報共有できるよう、効率化を図った。

## 2-1-3 分析

### 2-1-3-1 3年間の目的と目標

本研究では、様々な分野から与えられる複数種類の性能目標に応じて、複数種類の分析手法の中から適切な手法を選択することで、最適な性能設計を行うことを目標とする。また、リソース競合や外乱要因に対応した分析手法の検討を行うことで、精度の向上を図る。

### 2-1-3-2 研究実施内容

対象とするソフトウェアが性能目標を満たすか否かを判断するため、まずソフトウェアに対してどのような性能目標が与えられるのかをまとめた。具体的な研究実施内容は以下の通りである。

- ソフトウェアに対して与えられる性能目標の選別
  - スループット
  - 応答時間
- システムの特性に応じて求められる性能目標の強さの検討
  - ハードリアルタイムシステムに対する性能目標
    - ◇ 必ず処理を終える必要がある応答時間
  - ソフトリアルタイムシステムに対する性能目標
    - ◇ 処理を終える確率が何%以上必要という応答時間

ソフトウェアに対して与えられる性能目標が明確になったところで、次に与えられた性能目標に応じた分析手法の検討を行った。

- 性能目標の種別に応じた分析手法の検討
  - 性能目標にスループットが与えられた場合の分析手法の検討
    - ◇ 分析手法として待ち行列理論が最適と判断した
  - 性能目標に必ず処理を終える必要がある応答時間が与えられた場合分析手法の検討
    - ◇ 分析手法としてWCET解析が最適と判断した

- 性能目標に処理を終える確率が何%以上必要という応答時間が与えられた場合の分析手法の検討
  - ◇ 分析手法として実行振舞いシミュレータが最適と判断した

これらの検討を行った後、平成 22 年度の検証対象である動画再生ソフトに最適な分析手法の検討を行った。

その結果、平成 22 年度の検証対象である動画再生ソフトウェアの性能目標と最適な分析手法の検討を行った。その情報を以下に示す。

- 性能目標:処理を終える確率が何%以上という応答時間
- 分析手法:実行振舞いシミュレータ

これまでの実行振舞いシミュレータでは、性能目標に処理を終えることができるかどうかの分析結果のみしか判定できなかった。それだけでは妥当性の検証を行うことは困難であるため、一定の範囲内に結果が収束しているかどうか？実測値と比較してどれほど近似しているか等に関しても判定できるようなアルゴリズムの検討を行った。

これまでの動画再生ソフトウェアの性能設計は、一つの端末のみでしか試作検証を行ってきていなかった。そのため平成 24 年度は特徴が異なる様々な端末での試作検証を行い、これまで同様の方法で設計することが可能であるかの検討を行った。

## 第3章 本論－性能設計評価ツールの開発

### 【概要】

サブテーマ「性能設計モデルの研究開発」で定めた性能設計モデルの構築を支援し、シミュレーションで性能解析するツールを開発する。性能設計評価ツールでは複雑、大規模な組込みソフトウェアのモデル構築を容易にするための GUI 設計を行い、ツールとして導入難易度を下げることを目指す。

追加機能として、性能設計モデルを構築しながら、ソフトウェア設計仕様が策定できるなど、開発工程を支援する連携機能の開発を実施する。開発工程を支援する機能を付け加えることで、性能設計という新たな手法が展開されることを目指す。

### 3-1 性能設計評価ツールの研究開発

サブテーマ「性能要求定義手法の研究」で研究開発した性能要求定義を、容易に利用可能するために、グラフィカルユーザインタフェース(GUI)をもった性能設計評価ツールを開発する。

はじめに、性能設計評価ツールを動作させるための環境の調査、および性能設計評価ツールを開発するための開発環境について検討を行い、性能設計評価ツールの開発環境を策定する。

続いて、性能設計を行うために必要な諸機能の検討を実施し、性能設計評価ツールの GUI 設計を行う。

サブテーマ「性能要求定義手法の研究」にて出力された「実行振舞いシミュレータ」のアルゴリズムを実装する。「実行振舞いシミュレータ」の実装では組合せ問題と確率問題を計算させるためのソルバー（数学的解法ソフトウェア）が動作する環境を構築する。

最後に、GUI 設計に基づいたアプリケーションの開発と、実行振舞いシミュレータを結合させ、性能設計評価ツールの試作を行う。

#### 3-1-1 要求定義

##### 3-1-1-1 (1) 3年間の目的と目標

性能設計モデルの構築を支援し、シミュレーションで性能解析する性能設計評価ツールを開発するために性能設計評価ツールの要求定義を行うことが目的である。

性能設計評価ツールを使用するユーザの目線で、ユーザが性能設計評価ツールに求める機能を要求としてすべて定義することが3年間の目標である。

##### 3-1-1-1 (2) 研究実施内容

平成23年度に作成した性能設計評価ツールを元に、実用化及び製品化に向けた性能設計評価ツールを実現するにあたって、プロジェクトリーダーとサブリーダーが、性能設計評価ツールに思い描いている要求についてヒアリングを行った。

また、性能設計手法検討者と性能設計評価ツール開発者の視点からも性能設計評価ツールに必要な要求について検討し、意見についてまとめた。

##### 3-1-1-1 (3) 進捗状況と研究成果

プロジェクトリーダー及びサブリーダーとヒアリングを行い、性能設計評価ツールの土台となるイメージを検討した。

性能設計評価ツールは4つの構成要素からなる。

- 性能設計評価ツールGUI
- 性能設計評価ツールエディタ
- 性能設計評価ツール振舞いシミュレータ

- 性能設計評価ツール解析結果グラフ表示

性能設計評価ツール GUI で基本動作を行い、性能設計評価ツールエディタにて検証対象システムのモデルを記載し性能設計を行う。記載したモデルを元に性能設計評価ツール振舞いシミュレータにて、設計したモデルの評価をシミュレートする。そのシミュレート結果を解析してグラフとして結果出力を行う。性能設計評価ツールの土台となる要求は以上であり、現状の希望として Simulink との連動もツールの機能として入れ込むことを検討する。

性能設計評価ツールのイメージは以下の通りである。

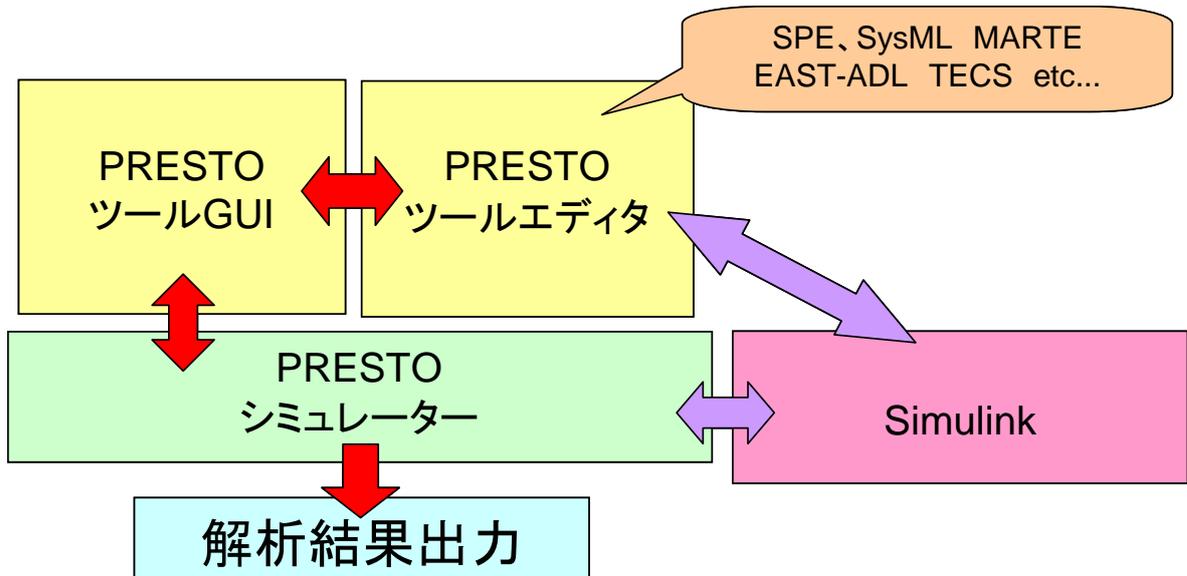


図 3-1-1-1 平成 22 年度 性能設計評価ツールのイメージ

このイメージを元に 22 年度、性能設計評価ツール開発を行った。

プロジェクトリーダー及びサブリーダーとヒアリングを行い、ソフトウェア、ハードウェアの観点を盛り込んだシミュレータの開発、実性能値とシミュレータ結果を比較し、分析結果を MATLAB/Simulink に連携、GUI とエディタの強化を盛り込んだ性能設計評価ツールのイメージを検討した。

具体的な内容としては、性能設計評価ツールを使用し、検証対象システムのモデルを記載する。その記載した内容を元に、実行振舞いシミュレータを用いてモデルの評価を行う。そして評価結果を出力する。また V850/PH03 基板と RAMScope を用いて実性能値を取得し評価結果を出力する。互いの出力結果を元に調整し、MATLAB/Simulink に連携するという流れとなる。

性能設計評価ツールのイメージは以下の通りである。

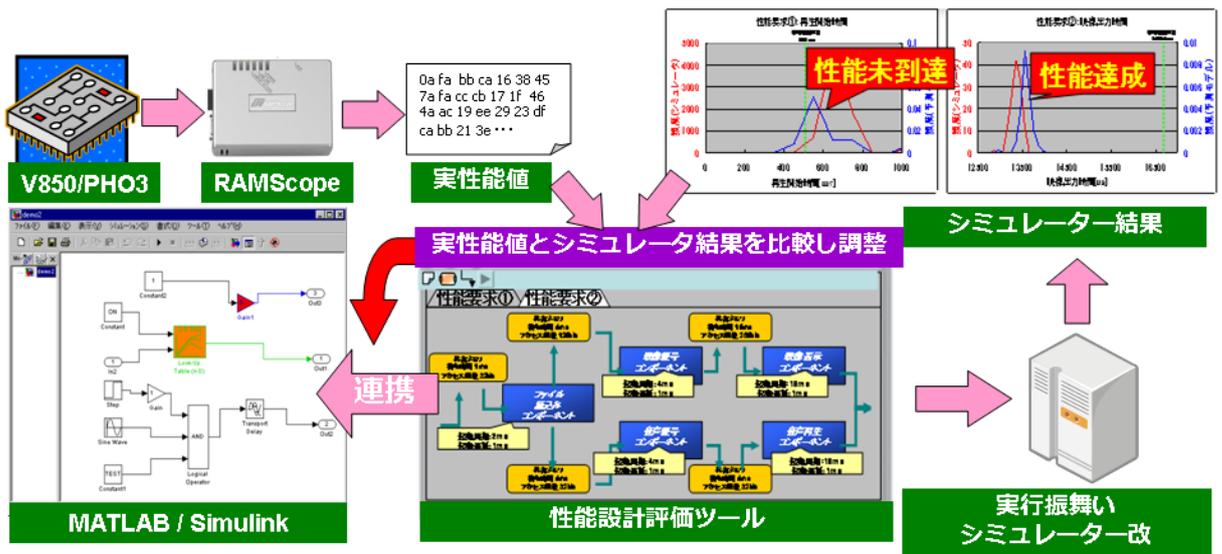


図 3-1-1-2 平成 23 年度 性能設計評価ツールのイメージ

このイメージを元に 23 年度、性能設計評価ツール開発を行った。

プロジェクトリーダー及びサブリーダーとヒアリングを行い、ソフトウェア、ハードウェアの観点を盛り込んだシミュレータの開発、平成 22 年度、平成 23 年度の性能設計評価ツールの課題をすべて解決し、実用化及び製品化に向けた性能設計評価ツールのイメージを検討した。

具体的な内容としては、性能設計評価ツールを使用し、検証対象システムのモデルを記載する。その記載した内容を元に、実行振り回シミュレータを用いてモデルの評価を行う。そして評価結果を出力する。また動画再生プレイヤーのソフトウェアである、mplayer を用いて実性能値を取得し、評価結果を出力する。実行振り回シミュレータの結果と、mplayer を用いて取得した実性能値を比較してグラフ表示するという流れになる。

性能設計評価ツールのイメージは以下の通りである。

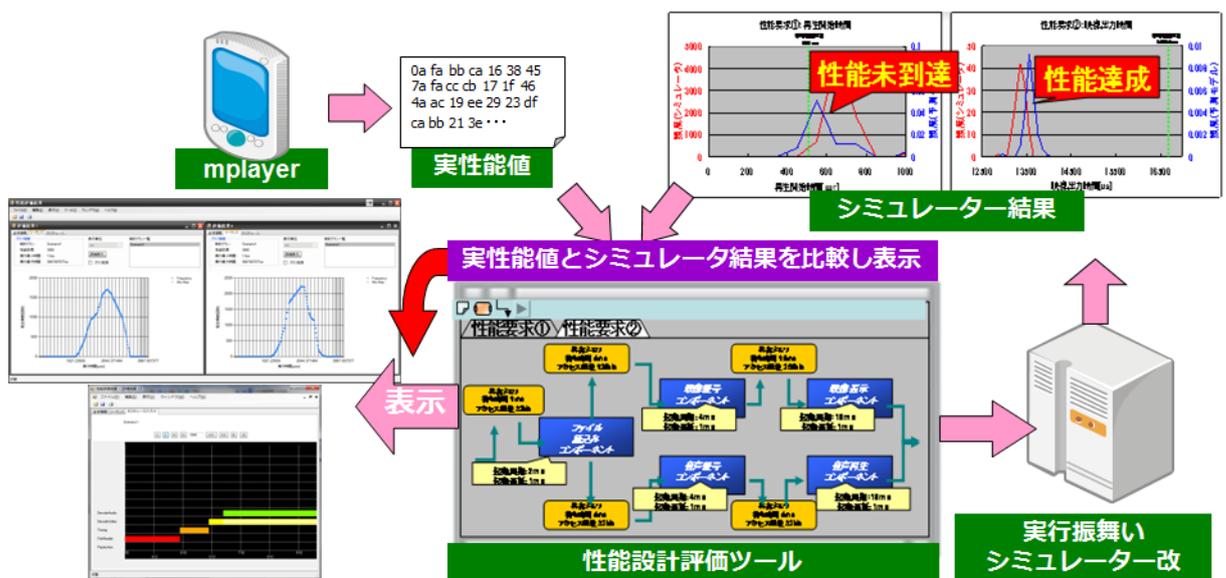


図 3-1-1-3 平成 24 年度 性能設計評価ツールのイメージ

## 第4章 本論—実証実験

### 【概要】

川下企業の協力のもと、現行製品、もしくは試作品へ本成果物を搭載する実証実験を実施する。初回の試験では、映像再生ソフトウェアを例にとり、性能設計モデルの試験を実施し、我々が提案する性能設計モデルの確度を計測する。

2回目移行の実証実験では、性能設計モデルを家電、制御システムなどの様々なアプリケーションで実証することで本研究の有効性を検証する。さらに、実証実験の結果として、性能設計モデルをライブラリとして蓄積し、性能設計ツールに組み込むことで付加価値を高めることを目指す。

### 4-1 性能設計モデルの評価

サブテーマ「性能要求定義手法の研究」で研究開発した性能要求定義の妥当性、実証実験機材を用いて確認するための準備を行う。

はじめに、実証実験機材の開発環境を構築し、映像再生ソフトウェアが動作する環境を構築する。つづいて映像再生ソフトウェアに対して、性能設計評価ツールを適用した、映像再生ソフトウェア性能設計モデルの検討を行う。

#### 4-1-1 実証実験環境の構築

##### 4-1-1-1 3年間の目的と目標

手法検討の調査(2-1-1)において調査した検証手法を用いて、組み込みソフトウェアの性能要求の事前検証を行うための環境構築を行う。手法を適用する際の知見を集約し、円滑に実証実験に移行できるようにする。

#### 4-1-2 実証実験

##### 4-1-2-1 3年間の目的と目標

手法検討の調査(2-1-1)において調査した検証手法を用いて、組み込みソフトウェアの性能要求の事前検証を行うための実証実験を行う。実際の環境下での結果と比較することで設計手法の問題点の検証を行い、精度の向上を図る。

##### 4-1-2-2 評価

これまで、シミュレーション結果の精度を確認する方法としては、実証実験の実測値と結果を並べ、目視で近似しているかどうかを確認していた。しかし、商用化に向けて精度の定量化を行うことが必要と判断し、評価尺度の検討を行った。検討を行った結果、評価尺度としては2つのデータの関連性、類似度を測る尺度として一般的に用いられている”相関係数”と”誤差率”を用いることとした。相関係数と誤差率の定義は下記の通りである。

### [相関係数]

グラフの計上の類似度を数値化する。値の範囲は”-1”~”1”であり、値が1に近いほどグラフの形状が等しく、”0”に近いほど関連がない。また、”-1”に近いほど逆の位相を持っていることを示す。

$$\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

$x_i$ : iフレーム目の実測値  
 $\bar{x}$ : 実測値の平均  
 $y_i$ : iフレーム目のシミュレーション結果  
 $\bar{y}$ : シミュレーション結果の平均  
 $n$ : フレーム数

[誤差率]

基準値に対し、どのくらい誤差があるかを表現したものである。基準値を実測値とし、シミュレーション結果との誤差を算出する。フレームごとの誤差率を計算し、全フレームの誤差率の平均を求めた。

$$\text{誤差率} = ((\text{シミュレーション値}) - (\text{実測値}) * 100)$$

・ [Armadillo-500FX]

ファイル	ファイル1	ファイル2	ファイル3	ファイル4
相関係数	0.918	0.763	0.827	0.610
誤差率平均	3.8%	15.0%	9.7%	6.4%
誤差率平均(絶対値)	5.1%	15.0%	13.5%	8.4%

・ [Armadillo-800EVA]

ファイル	ファイル1	ファイル2	ファイル3	ファイル4
相関係数	0.907	0.723	0.812	0.546
誤差率平均	-1.8%	4.4%	2.9%	-4.5%
誤差率平均(絶対値)	5.4%	5.8%	11.2%	8.0%

誤差率、相関係数ともに実際の計測結果に近似した値となった。SPEに基づいてシステムのモデル化を行ったシミュレーションは、高精度で実際のシステムを近似することが出来ることが分かった。

## 第5章 本論－特許

### 【概要】

本研究開発プロジェクトで開発した、性能設計モデル、および性能設計評価ツールに関して、以下の3件の特許として出願した。

1. 処理待ち時間モデルによる計算機ソフトウェア性能設計方法および支援システム
2. 処理待ち時間モデルによるネットワーク化計算機ソフトウェア性能設計方法および支援システム
3. 計算機ソフトウェア性能設計方法、およびネットワーク接続された計算機システムにおける処理待ち時間モデルのデータ入力方式、およびデータ管理方式

### 【PCT 出願】(国際出願)

発明の名称：計算機ソフトウェアシステム設計支援装置

国際出願番号：PCT/JP2012/001478

国際出願日：平成24年3月2日

国際公開番号：WO2012/117746

国際公開日：2012年9月7日

発明の名称：ネットワーク型計算機ソフトウェアシステム設計支援方法

国際出願番号：PCT/JP2012/001479

国際出願日：平成24年3月2日

国際公開番号：WO2012/117747

国際公開日：2012年9月7日

### 【審査請求】

国際出願番号：PCT/JP2012/001478

国際出願番号：PCT/JP2012/001479

において、国内出願に切り替えたうえで審査請求中である。

## 第6章 本論—プロジェクトの管理・運営

### 【概要】

当該研究を適切且つ効果的に実施するために、本プロジェクトでは、プロジェクト進捗管理を行う会議（研究開発委員会）および研究の技術的解決をおこなう会議（技術検討委員会）を定期的実施してプロジェクトの管理を行った。

また、上記で記載したプロジェクト全体での管理・運営の他に、研究実施者を専門の複数のグループに分割し、個別のグループ検討会議を実施するなど技術的に深い検討を重ねて、プロジェクトの技術的な進捗および運営を行った。

### 6-1 プロジェクト管理

研究開発委員会を実施し、事業管理者、PL、SL、再委託機関、アドバイザーが一同に会し、プロジェクトの進捗状況と、推進に対しての問題点の列挙および解決を実施した。

#### 6-1-1 研究開発委員会

研究開発委員会において、各研究開発グループより、研究の計画予定、進捗状況、問題点等の報告を受け、適切な指示および回答を行う。また、参加いただいたアドバイザー各位より、本研究の方向性や実施内容について、家電分野から見て、問題ないかなどを確認する。

##### 6-1-1-1 委員会実施内容

■平成22年度は以下の6回実施した。

- 第1回研究開発委員会 2010/09/15(水) 13:00-16:45 財団法人 新産業創造研究機構
- 第2回研究開発委員会 2010/10/15(金) 13:00-15:45 株式会社 ヴィッツ 名古屋本社
- 第3回研究開発委員会 2010/11/12(金) 13:00-17:00 財団法人 新産業創造研究機構
- 第4回研究開発委員会 2010/12/07(火) 13:00-16:45 船井電機 株式会社 扇町研究所
- 第5回研究開発委員会 2011/01/12(水) 13:00-15:45 財団法人 新産業創造研究機構
- 第6回研究開発委員会 2011/02/17(木) 13:00-15:30 財団法人 新産業創造研究機構

■平成23年度は以下の5回実施した。

- 第1回研究開発委員会 2010/07/28(水) 15:00-16:00 公益財団法人 新産業創造研究機構
- 第2回研究開発委員会 2010/08/30(火) 13:00-15:30 公益財団法人 新産業創造研究機構
- 第3回研究開発委員会 2010/10/17(月) 13:30-17:00 株式会社 ヴィッツ 名古屋本社
- 第4回研究開発委員会 2010/12/16(金) 13:00-16:00 公益財団法人 新産業創造研究機構
- 第5回研究開発委員会 2011/02/09(木) 13:00-15:30 兵庫県立大学

■平成24年度は以下の5回実施した。

- 第1回研究開発委員会 2011/07/25(木) 15:00-17:00 公益財団法人 新産業創造研究機構
- 第2回研究開発委員会 2011/09/14(金) 13:00-15:00 公益財団法人 新産業創造研究機構
- 第3回研究開発委員会 2011/10/05(金) 13:30-16:00 株式会社 ヴィッツ 名古屋本社
- 第4回研究開発委員会 2011/12/14(金) 13:00-16:15 公益財団法人 新産業創造研究機構
- 第5回研究開発委員会 2012/01/25(金) 13:00-15:15 兵庫県立大学

##### 6-1-1-2 委員会実施成果

平成22年度は3つのサブテーマについて研究を実施した。各サブテーマにはそれぞれリーダーが研究進捗や課題を管理し、速やかに本委員会に報告された。また、報告を受けた研究進捗上の課題や方針決定などが、本委員会で解決・決定され、本研究開発委員会は有効に活用できたと考えられる。

##### 6-1-1-3 3年間の総括

毎月の進捗管理により、各開発においてスケジュール的な問題や成果方針などの決定・指示を行い、初年度の研究期間を通じ、良好な運営を行なうことができた。

また、PLは主に事業化・運営に責任をもち、SLが技術的な責任を持つなどの職務分掌が出来ており、各プロジェクトで問題等が発生した時に、速やかに対処することができた。

## 第7章 全体総括

### ① 性能設計モデルの研究開発

適用範囲を家電の動画再生システムに限定し、性能設計モデルの信頼性をより向上させていく。また、設計手法に関して解決していない課題(処理時間に影響が大きい情報の洗い出しと適用方法の検討)について検討/対応を行う。次に、動画再生端末についてモデルの試験検証を行ってきたが、一つの端末でしか試作を行っていない。実用化を考えた場合、様々な種類のハードウェア環境にてモデルを適用できることが望ましい。従って性能の異なる様々な端末においても同様のアルゴリズムを用いてモデルを作成し、性能設計を行うことが可能であるか性能設計モデルの検証を行うこととした。

“SPE”において離散データ入力を考慮するために、ソフトウェア実行グラフの仕様について離散データが扱えるように追加/変更を加え、手法が有効であることを手計算で確認した。

### ② 性能設計評価ツールの開発

平成23年度に作成した性能設計評価ツールを元に性能設計手法の運用を効率化するためのツール開発を行うことが目的であり、ソフトウェア、ハードウェアの観点を盛り込んだシミュレータの開発、平成22年度、平成23年度の性能設計評価ツールの課題をすべて解決し、実用化及び製品化に向けた開発を目標とした。

進捗としては、実際に性能設計評価ツールを使用し、検証対象システムのモデルを記載し、その記載した内容を元に、実行振舞いシミュレータを用いてモデルの評価を行い、そして評価結果を出力する全ての作業を実行できることを確認した。また動画再生プレイヤーのソフトウェアである、`mplayer`を用いて実性能値を取得し、評価結果を出力することで、実行振舞いシミュレータの結果と実性能値を比較し、ツールの有効性を検証することができた。

性能設計モデルおよび、性能設計評価ツールについて、国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 2 / 0 0 1 4 7 8 の国内移行を行い、特許審査請求を行った。

### ③ 川下企業と連携した実証実験③ 川下企業と連携した実証実験

性能設計モデルを利用したソフトウェア実行モデルのシミュレーション結果を検証するため、平成22年度購入した小型携帯端末を利用して、平成23年度は動画再生ソフトウェアの実機での性能処理時間計測を行い、その挙動を性能設計評価手法を用いて解析することができた。