

平成23年度3次補正予算事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「レアアースレスモータ制御のためのソフトウェア実装研究開発」

研究開発成果等報告書概要版

平成25年 1月

委託者 中部経済産業局

委託先 公益財団法人名古屋産業科学研究所

目 次

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	3
1-2	研究体制	8
1-3	成果概要	12
1-4	当研究開発の連絡担当窓口	20
第2章	本論	
2-1	界磁巻線形同期モータモデルならびに制御アルゴリズムの構築 (サブテーマ①)	21
2-2	モータ制御のための評価用電子回路開発 (サブテーマ②)	22
2-3	モータ制御評価のための計測ツールの開発 (サブテーマ③)	23
2-4	モータをシミュレーションするためのツールの開発 (サブテーマ④)	24
2-5	モータ制御用組み込みソフトウェアの開発及び動作検証 (サブテーマ⑤)	25
2-6	モータ制御用 FPGA IP の開発 (サブテーマ⑥)	26
第3章	全体総括	
3-1	研究開発総括	27
3-2	研究開発後の課題	28
3-3	事業化展開	29
付録	用語集	34

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

1) 研究の目的

近年、自動車業界では EV/HV が急成長しているが、現在、小型・軽量、高効率という要求に応えるため、高エネルギー積磁石であるレアアース磁石を用いたレアアースモータが駆動用に採用されている。しかし、ここ数年、EV/HV の需要が高まる中、モータを構成する部品として重要なネオジム磁石の需要も拡大している。その名前にあるようにネオジム磁石にはレアアース資源である Nd(ネオジム)を含むとともに、特に自動車用など高耐熱環境下で用いられる場合は、Dy(ディスプロシウム)など極めて希少性の高い中・重希土類元素が添加物として用いられる。これらは希少資源であり、且つ、海外から輸入に依存していることやワールドワイドでこのネオジム磁石の需要が拡大していることから、入手性の問題及び価格の高騰が川下製造業者にとっては大きな課題となっている。このためレアアースを使用しないで製造できるモータが研究されているが、現在、レアアースレスモータの一候補として界磁巻線形同期モータが注目されている。界磁巻線形同期モータはレアアースを使用せずに、レアアースモータと同水準の性能が期待できる。ただし、このモータはレアアースモータと同様、電子機器に搭載されたコンピュータを使用した制御が必須であるが、従来のレアアースモータよりも、高度な制御ソフトウェアが必要となる。レアアースレスモータである界磁巻線形同期モータの実用化のためには、制御ソフトウェアが不可欠であるとともに、国内モータ産業の競争力や海外との差別化のためにも、本制御ソフトウェアは重要な役割を果たす。本研究の目的は、EV/HV に搭載可能な駆動用レアアースレスモータ対応の制御用コンピュータ向けの組込みソフトウェアの開発に基づき、レアアースレスモータの制御技術を確立し、川下製造業の市場導入時期を加速させることにある。

2) 研究の概要

本研究では現在レアアースレスモータの一候補として期待されている界磁巻線形同期モータを対象に、自動車用コンピュータに搭載可能な制御ソフトウェアを研究開発する。レアアースモータと置き換えが可能なレアアースレス界磁巻線形同期モータを搭載した製品の市場投入は、川下製造業者の強い要求でもある。界磁巻線形同期モータは、電力用発電機や自動車用オルタネータなど、主として発電機として現在も用いられているが、本研究開発で扱う新しいタイプの界磁巻線形同期モータとしては歴史が浅く、特に EV/HV 駆動用モータとしての制御方法は確立されていない。川下製造業者の要求を考慮した界磁巻線形同期モータの導入のためには下記課題を克服する必要がある。

- 従来のレアアースモータから界磁巻線形同期モータへの移行のためには、従来の三相インバータ制御ソフトウェアに加え、界磁巻線用の直流電力変換制御が少なくと

も必要になる。さらに、モータ制御のための界磁巻線を昇圧回路などの直流リアクトルと共有化させて一層の小型・軽量化を狙うモータ回路集積型駆動システムを構築する場合、制御性能をフルに引き出すための最適制御は極めて複雑で、ソフトウェア規模増大にともなう演算処理負荷が問題となる。

- 現時点で入手可能な電子回路とコンピュータを使用した界磁巻線形同期モータの最適制御法の具体化（新電子回路、コンピュータ、アルゴリズム等の具体化）、及び、多機能化に応じたソフトウェアの規模増加に対する克服が必要である。
- レアアースモータ制御用に採用されているコンピュータと同等性能で、かつ同等価格もしくはそれ以下のコストのコンピュータで実現が可能であることが必要、即ち現状のモータを使用する産業における部品コストに見合うことが必要である。このための方策として、ソフトウェアのハードウェア化も視野に入れる。
- 界磁巻線形同期モータ制御ソフトウェアの動作評価のためには、新たな開発環境が必要になるとともに、新制御方式に対応した実行評価環境や計測環境が必要となる。
- 川下製造業者におけるレアアースレスモータ導入加速のためには、実験室における大型制御システムでのモータ評価を目指すのではなく、自動車に搭載される電子回路を想定した小型の制御システムによる検証が必要である。

これら課題を克服し、界磁巻線形同期レアアースレスモータを対象とした組込み制御ソフトウェア（以降、制御ソフトウェアと称す）の開発を実施するのが本研究である。

しかしながら、組込み制御ソフトウェアに搭載される電子制御装置のコスト要求は厳しく、かつ開発環境の整備も必要となる。本研究ではこれら課題に加え、下記のサブテーマにより研究開発を行い、各技術的目標を定め実現を目指す。

サブテーマ① 界磁巻線形同期モータモデルならびに制御アルゴリズムの構築

制御モデルに基づく分析により、応答性、高効率運転性などを指標に、ソフトウェアとして実現可能な最適制御アルゴリズムを構築する。条件としては、現行のレアアースモータと同等のコンピュータ性能、電子回路性能にて実行できることを目標とする。目標とする CPU 性能は電子回路の消費電力を低減させるため、クロック 200MHz 以下、32bit データ処理、搭載メモリ ROM 512Kbyte/RAM 32Kbyte 以内での動作実行を目指す。

サブテーマ② モータ制御評価のための評価用電子回路の開発

レアアースレスモータ制御開発に最適な電子回路を開発・試作をする。
評価時の作業性を向上させるため、評価時の配策や調整が容易となる電子回路開発を目標とする。

＜本研究開発のイメージ図＞

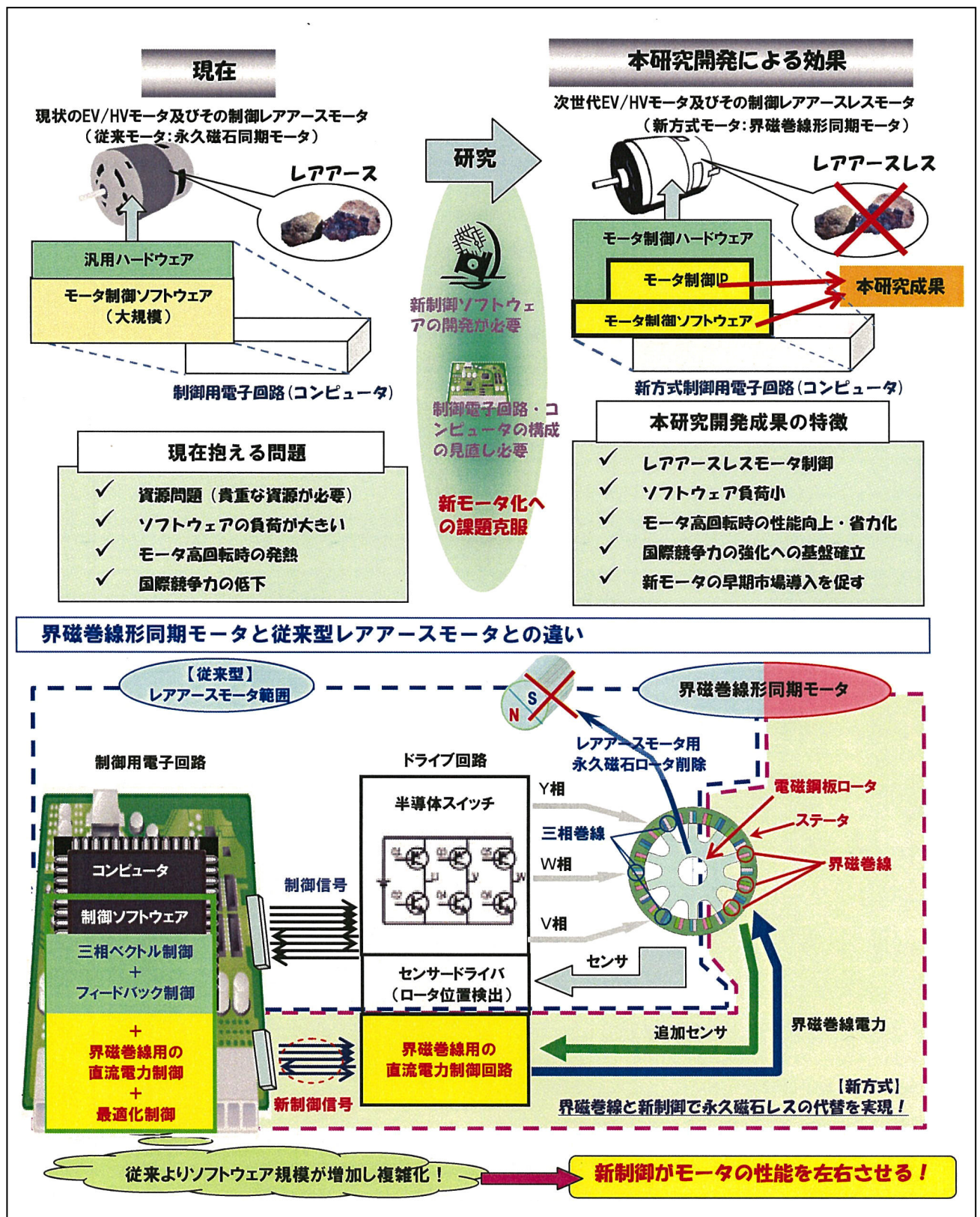


図 1-1 研究開発イメージ

サブテーマ③ モータ制御評価のための計測ツールの開発

レアアースレスモータ制御開発に必要なデータ計測ツールの設計・試作をする。
評価時の作業性がよく、計測データの記録が可能な WindowsPC ベースのツール
開発を目標とする。

サブテーマ④ モータをシミュレーションするためのツールの開発

モータ及びモータをドライブする電子回路と置き換えが可能な、シミュレーション
環境開発を目標とする。本事業で使用されるモータは持ち運ぶことが困難であるこ
とが予測されるため、各研究員の机上にて使用可能な設置性の高い小型のシミュ
レーションツールを実現する。

サブテーマ⑤ モータ制御用組込みソフトウェアの開発及び動作検証

本テーマが本研究開発の主テーマとなる。組込みソフトウェアで一般的に使用され
ている C 言語によるソフトウェア開発とし、今後開発されるモータ制御システムへ
のソフトウェア移植性を重視する。モータを制御する基本ソフトウェアのコード量
目標は、ソース行で 8000 行以下、CPU 負荷 40%以下を目指す。

サブテーマ⑥ モータ制御用 FPGA IP の開発

サブテーマ⑥においてソフトウェアで解決困難な処理負荷低減を本テーマにより高
速化させる。組込み Verilog HDL に基づく記述による開発とし、ハードウェア化
を意識した構造、ならびにインタフェース開発を目標とする。FPGA へ搭載される
論理回路規模としては、現行のロジック量の約2倍の 4000 スライス以下を目標
とする。

⑦ プロジェクトの管理・運営

事業管理機関である公益財団法人名古屋産業科学研究所は、本研究開発における
全体の統括を担当し、以下に基づきプロジェクトの管理・運営を行う。

- ・研究期間 3 度の研究推進会議の開催：進捗管理、課題の討議
- ・研究期間 4 度の技術検討／連絡会の開催：技術課題を検討すると共に研究員
相互間での共有化を図る
- ・成果報告書の取りまとめ

3) 実施内容

本研究開発の目標とするところは、リアアースレスモータに最適なソフトウェア制御アルゴリズムと電子回路の要件を導き、EV/HV 自動車用制御コンピュータに搭載可能となる基盤組み込みソフトウェアを開発することにある。

これを実現するため、前述した6つのサブテーマに基づき開発を進め、リアアースレスモータ制御のためのコンピュータ用組み込みソフトウェアを構築する。

図 1-2 に本研究サブテーマの関連と成果について示す。

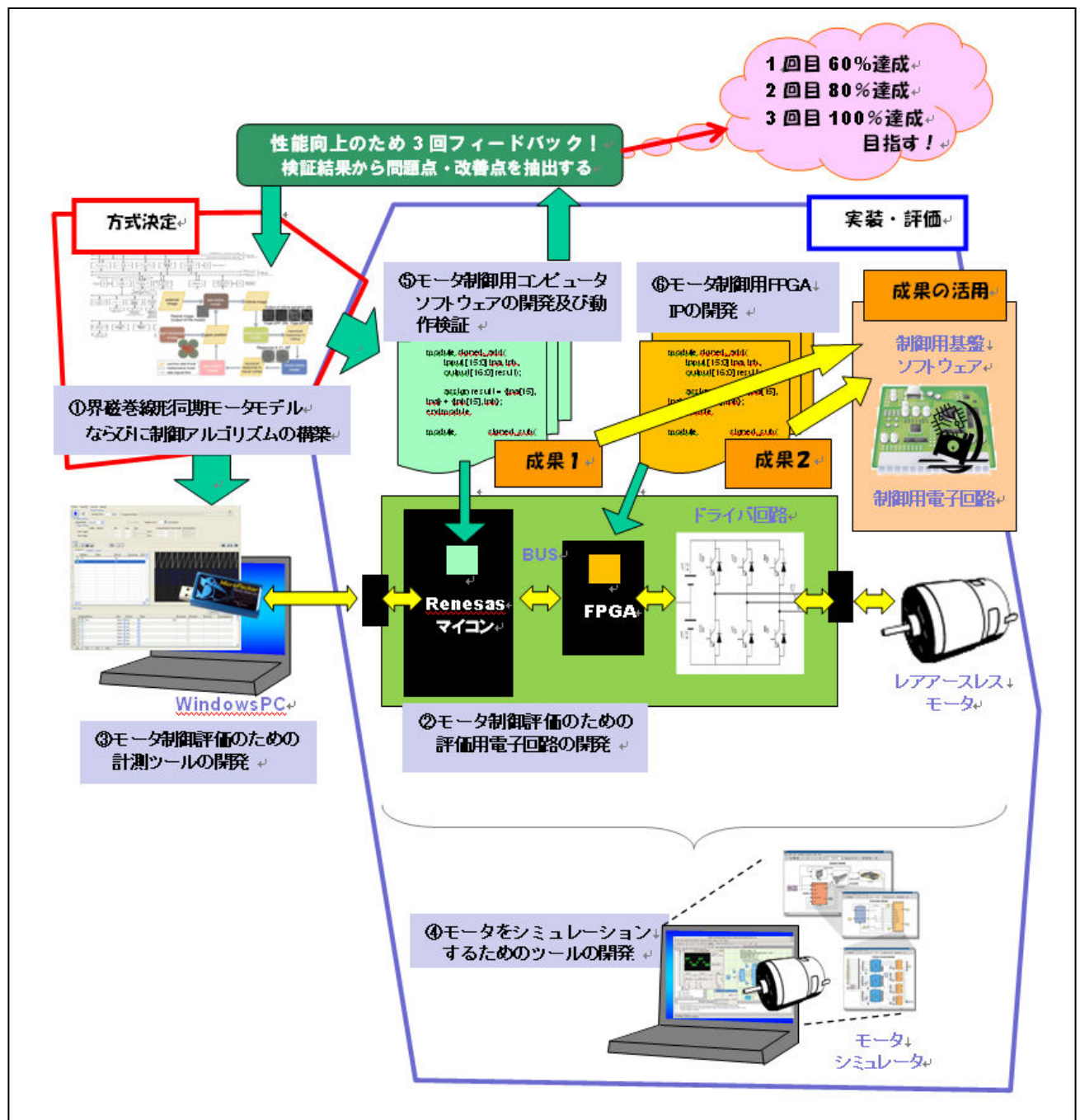
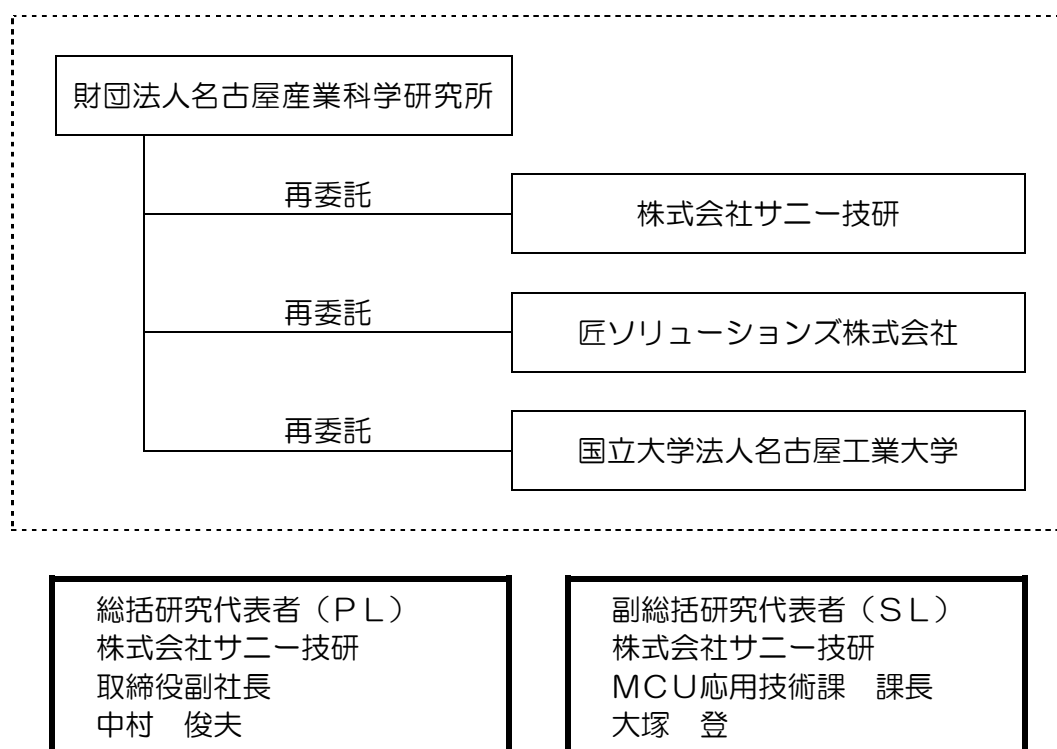


図 1-2 サブテーマの関連と成果

1-2 研究体制

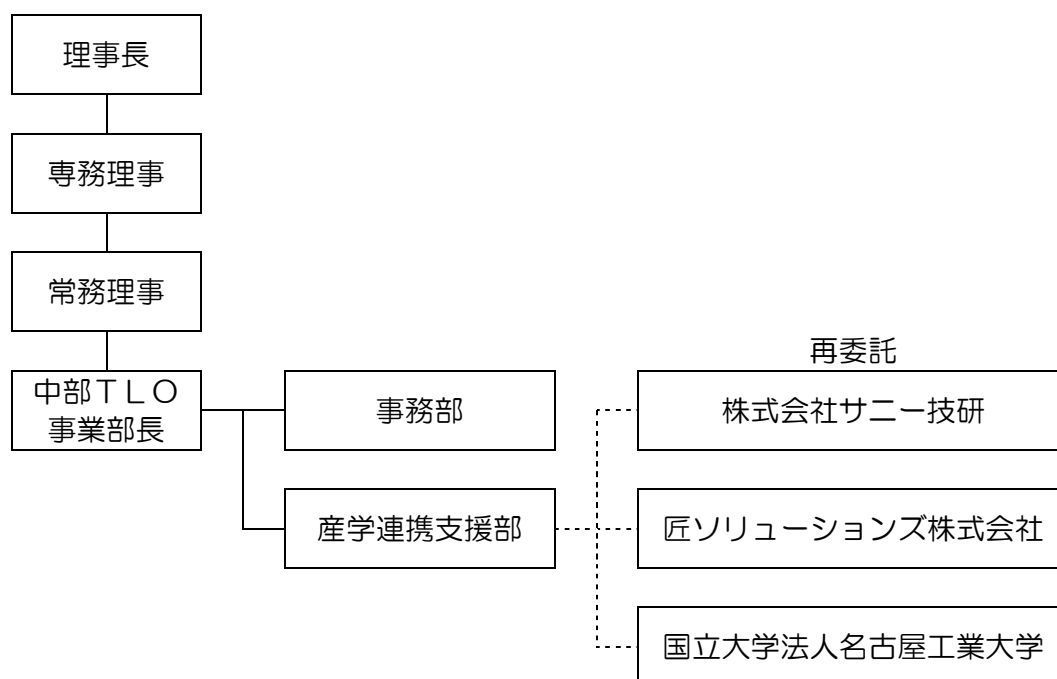
1) 研究組織（全体）



2) 管理体制

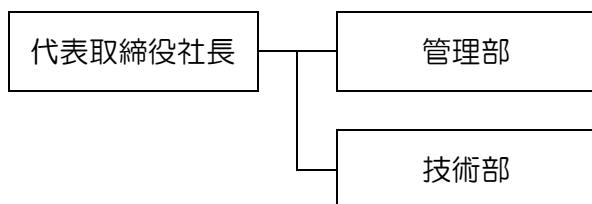
① 事業管理機関

財団法人名古屋産業科学研究所

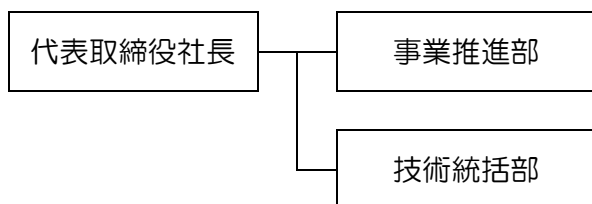


② 再委託先

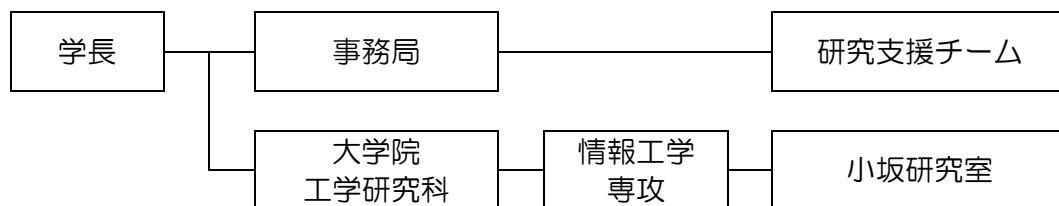
株式会社サニー技研



匠ソリューションズ株式会社



国立大学法人名古屋工業大学



(3) 管理員及び研究員

【事業管理機関】 財団法人名古屋産業科学研究所

管理員

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
山田 義憲	中部ＴＬＯ産学連携支援部 担当部長	⑦

【再委託先】

研究員

株式会社サニー技研

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
中村 俊夫	取締役副社長	①②③④⑤
大塚 登	MCU 応用技術課 課長	①②③④⑤
今村 聡彦	MCU 応用技術課	①③⑤
尾仲 洋和	MCU 応用技術課	③
富氣 久幸	MCU 応用技術課	②③
吉田 啓介	MCU 応用技術課	②③
米田 真之	MCU 応用技術課	①③⑤
大澤 哲也	MCU 応用技術課	③⑤
中本 加那	MCU 応用技術課	③⑤
水野 貴文	MCU 応用技術課	③⑤
松田 浩二	MCU 応用技術課	①④⑤
加藤 泰平	MCU 応用技術課	①②④⑤
安室 翔一	MCU 応用技術課	①②③⑤
渡辺 雅之	車載課	①④⑤
濱邊 真也	車載課	①④⑤
村井 彰	車載課	①④⑤
津田 成彦	車載課	⑤
山田 真吾	車載課	⑤
松本 匡史	車載課	①⑤

匠ソリューションズ株式会社

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
岩本 正美	代表取締役	①⑥
堀米 春輝	技術統括部	①⑥
ラケサール ラヴィカント	技術統括部	①⑥

国立大学法人名古屋工業大学

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
小坂 卓	准教授	①⑤
青木 睦	准教授	①⑤

(4) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

財団法人名古屋産業科学研究所

(経理担当者)	中部ＴＬＯ	事務部	事務職員	丑山	好夫
(業務管理者)	中部ＴＬＯ	産学連携支援部	担当部長	山田	義憲

(再委託先)

株式会社サニー技研

(経理担当者)	管理部	総務課	澤下	勝彦
(業務管理者)	取締役副社長		中村	俊夫

(再委託先)

匠ソリューションズ株式会社

(経理担当者)	事業推進部	大江	良一
(業務管理者)	代表取締役	岩本	正美

国立大学法人 名古屋工業大学

(経理担当者)	研究支援チーム	マネージャー	山口	裕史
(業務管理者)	情報工学専攻	准教授	小坂	卓

1-3 成果概要

本研究の目的を達するため、研究員にて、1-1で掲げた6つのサブテーマについての研究を実施した。

実施内容は、まずサブテーマ①にて、制御方式・アルゴリズムなど各サブテーマに対する要件を策定し、展開を行った。

次に、展開された要件から、サブテーマ②～④にて、モータ制御ソフトウェア/FPGA IP 開発環境を構築、サブテーマ⑤・⑥にて、制御ソフトウェア/FPGA IP の作成を実施し、検証を行った。

検証手順としては、界磁巻線形同期モータ検証に至るまでに、サブテーマ④にて開発したシミュレータによる検証、サブテーマ②にて開発した基板を用いて、机上用モータ検証、模擬モータ検証(サブテーマ④成果物含む)を実施し、シミュレータを除く実基板検証時には、サブテーマ③で開発した計測ツールを用い、制御ソフトウェア/FPGA IP における設計上の不具合を改修した。以上の手順に則り検証を行い、界磁巻線形同期モータ検証に臨んだ。

界磁巻線形同期モータの検証は、サブテーマ③にて開発された計測ツール、および実験室設備である計測機器によるデータ取得・解析を行い、制御の妥当性を確認、モータ制御ソフトウェア/FPGA IP の確立に至った。

次ページ以降にサブテーマ毎の研究・実施の成果を記述する。

サブテーマ①

界磁巻線形同期モータモデルならびに制御アルゴリズムの構築

担当：国立大学法人名古屋工業大学、株式会社サニー技研、
匠ソリューションズ株式会社

本サブテーマでは、モータ制御、車載組み込みソフトウェアの専門家からのヒアリング及び技術指導による制御方式の仕様化、各サブテーマに対する要求策定、展開が主な実施内容である。その他にもモータトレーニングと称し、実施過程において得られた知識(基礎理論など)を報告する場を設け、研究員間での知識の共有化を図った。

本研究を実施するに当たり、安全かつ効率的に開発を進めるため以下のような実施フローで段階を踏んだ検証を行い、最終ターゲットである界磁巻線形同期モータ検証に臨むこととした。

○実施フロー

- STEP1：机上用モータ検証
- STEP2：シミュレータ検証
- STEP3：模擬モータ検証
- STEP4：界磁巻線形同期モータ検証

また、各サブテーマに対し解決すべき内容として以下 6 項目に分け要件策定を実施した。本項では各項目に対する策定した要求概要も合わせて示し、その詳細は以降の各サブテーマで記載する。

(1) 制御方式及びアルゴリズム(関連サブテーマ：②～⑥)

- ・効率良く、緻密な制御を行うためにベクトル制御、フィードバック制御を用いる。
- ・モータ機器定数や接続インタフェースなど実モータシステム(界磁巻線形同期モータ、レゾルバ、インバータユニット)仕様の明確化を行う。

(2) 制御コンピュータ用のソフトウェア、FPGA IP との制御機能分担(関連サブテーマ：⑤、⑥)

- ・制御ソフトウェア/FPGA IP 各々独立してモータ制御を行い、機能面、性能面から各々の有用性を確認する。

(3) レアアースレスモータ制御に必要なハードウェア要件(関連サブテーマ：②)

- ・実施フローに従い制御ソフトウェア/FPGA IP の模擬開発、実機開発への柔軟な対応も考慮して、それぞれが分割・結合できるような構成とする。

(4) 試験・評価に必要な開発環境の要件(関連サブテーマ：③、④)

【計測ツール】

- ・評価時の作業性が良く、計測データ表示・記録が可能な Windows OS 用ツールとする。
- ・毎モータ制御周期の内部情報の取得に対応可能な高速ロギング機能を有する。

【シミュレーション環境】

- ・モータモデル構築のための理論式を確立する。
- (5) 組み込み制御ソフトウェアに対する要求事項(関連サブテーマ：⑤)
 - ・階層構造とし、理論のみならず、移植性・保守性も考慮したソフトウェア構成とする。
- (6) レアアースレスモータ制御に対する検証内容(関連サブテーマ：⑤、⑥)
 - ・安全面、問題点の切り分けやすさを考慮し、センサ、界磁巻線側、電機子巻線側というように段階を踏んだ検証工程を確立する。

サブテーマ②

モータ制御評価のための評価用電子回路の開発

担当：株式会社サニー技研

本サブテーマでは、モータ制御評価するための電子回路としてモータ評価ボードの開発を行った。

開発する基板はサブテーマ①にて定めた実施フローを実現するため、制御ソフトウェア/FPGA IP の模擬開発、実機開発への柔軟な対応も考慮し、それぞれ分割・結合可能な構成とするべく 4 種の基板(制御基板、ドライブ基板、模擬基板、インタフェース基板)を開発した。

(1) 制御基板

モータ制御に使用されるマイコンと FPGA を搭載したメイン基板で、他 3 種の基板と接続される。

搭載マイコンには、今日、EV/HV に標準的に採用され、要求性能(クロック 200MHz 以下、32bit データ処理、搭載メモリ ROM 512Kbyte/RAM 32Kbyte 以内)を満たしており、周辺機能にモータ制御に有用な AD コンバータ、RD コンバータ、MTU3(三相 PWM 生成 IP)を搭載しているルネサスエレクトロニクス製 SH2A マイコン「SH72AY」を採用した。

搭載 FPGA には論理回路規模 4000 スライス以下という計画目標から鑑みて、ザイリンクス製「Spartan-6」を採用した。

FPGA 側の RD コンバータには、対向レゾルバ「5X 型」、モータ最高回転数 20000rpm であることから多摩川精機製「AU6803」を採用し、周辺回路としてレゾルバ励磁アンプ回路、レゾルバ入力フィルタ回路を実装している。

他回路として、アンチエイリアスフィルタ回路(2 次サレンキー型)実装し耐ノイズ性の確保により、ノイズが大きく飛び交うことが想定される実モータ試験環境においても正常な動作を確立した。

評価、検証時の効率やアプリケーションへの対応を考慮し、入出力 I/O(ボリューム、タクティル SW、DIP-SW、LED)を各種複数実装とした。

(2) ドライブ基板

制御基板、ブラシレス DC モータ、レゾルバと接続され、机上用モータ駆動を可能とする基板である。

インバータ回路(ブリドライバ、パワーMOSFET×6にて構成)や電流センサに関わるフィードバック回路を実装し、机上用モータ駆動を可能としている。界磁巻線側への対応として、10 バーLED とその周辺回路により界磁巻線 PWM 制御の可視化を可能としている。

また、過電流保護機能、過電圧保護機能(回生電圧対策)などの保護機能が実装されており、より安全なモータ制御検証が可能である。

(3) 模擬基板

制御基板と接続され、基板上的 FPGA にモータモデルを焼き込むことで模擬モータ検証を可能とする基板である。

主要回路としては、レゾルバ信号部、モータフィードバック電流部にはデジタル-アナログ変換回路を実装している。

他、USB-シリアル変換 IC とその周辺回路により、USB 経由で外部からのモータモデル設定やモータモデル内パラメータ取得を実現している。

(4) インタフェース基板

制御基板、実モータシステム(界磁巻線形同期モータ、レゾルバ、インバータユニット)と接続され、両者の信号伝達/変換を行うことにより界磁巻線形同期モータ駆動を可能とする基板である。

実モータシステムとの接続に関しては、電機子巻線/界磁巻線制御信号は光インタフェース、レゾルバ信号は D-SUB9 ピンコネクタによりそれぞれ接続される。

また、±5V で入力される電機子巻線/界磁巻線電流を制御基板で受け取れるよう 0V~+5V にレベルシフト回路が実装されている。

サブテーマ③

モータ制御評価のための計測ツールの開発

担当：株式会社サニー技研

本サブテーマでは、レアアースレスモータ制御開発に必要なデータ計測ツールの設計・試作・実証を行った。

モータ制御は非常に短い周期でモータからの電流センサやレゾルバセンサ入力値をフィードバックして算出した演算結果をもとに、出力制御信号を制御している。

さらにはモータシステムそのものが、ブレークによるデバッグができない(制御コントローラとモータの同期が取れなくなる)システムである。よって、求められるツールには、モータ制御の演算結果を確認するために、あるタイミングのデータ群だけでなく、周期処理ごとの連続したデータ群を閲覧、保持できる必要がある。

ハードウェア化による処理負荷軽減を目的とした FPGA IP に至っては、開発段階での信号のモニタをデバッグすることに懸念があり、問題発生時解消への長期化や正常動作のエビデンス保持に課題を残す。

そこで、マイコン用/FPGA 用の 2 種(マイコン用：マイコン高速 RAM モニタ、FPGA 用：FPGA ステートモニタ)を計画し、マイコン高速 RAM モニタには、より高速にロギングすることが、FPGA ステートモニタには、加えて大容量ロギングが可能で、トリガタイミングを適切に変更できることが、ツールの基本要件とし開発を行った。

本ツールのユーザインタフェースには、電気信号ならびにコンピュータ演算結果を取得して PC 画面へ状態を表示する機能(モニタ機能)と、信号の変化状態をデータファイルとして PC に記録する機能(ロギング機能)を有することが必要となる。

(1) マイコン高速 RAM モニタ

マイコン高速 RAM モニタは本事業内で実用化までは至れていない。結果、マイコン高速 RAM モニタと FPGA ステートモニタの同期機能は仕様策定までとした。

実検証時には代替として既製品の RAM モニタを用いた。想定していた RAM モニタに対する様々なニーズ(高速化、サンプリング点数増加など)を実検証の中で再確認できたため、今後、実用化に向けた製品開発の加速が必要である。

(2) FPGA ステートモニタ

FPGA ステートモニタは毎モータ制御周期内での内部状態の取得に対応できる高速なロギング機能を有する。(サンプリング周期：0.005msec～1000msec) サンプリング周期含め、モニタ対象設定を変えるたびに IP を焼きなおす必要なく GUI 上にて即時変更が可能であることや、外付けの DDR2 SDRAM にデータを格納するため BlockRAM のリソースを使用しないことも利点として挙げられる。

モニタデータについては、GUI 上で確認、グラフ表示機能も完備しており、また CSV 形式で PC に保存することが可能である。

FPGA ステートモニタは、サブテーマ②にて開発した制御基板と接続、実基板検証にて使用され、ISE に標準で付属されている「ChipScope」と比較しても遜色ないデータ取得が可能であった。

サブテーマ④

モータをシミュレーションするためのツールの開発

担当：株式会社サニー技研

本サブテーマでは、モータ及びモータをドライブする電子回路と置き換え可能なモータシステムのシミュレーション環境の開発と、そのシミュレーション環境を用いた実証を行った。

大出力モータの実駆動は危険性を伴うため、安全性の確保ができる設備と運用が必要になる。

開発の初期段階においては実験的要素が高いため、界磁巻線形同期モータを模擬可能なシミュレータを準備することにより、実駆動時の危険性を回避させ、評価作業における制約を除去し開発効率を向上させる。

また、シミュレーション環境の利点として、モータの誤動作や故障の模擬を構築することにより安全制御の確認にも有効利用可能な点が挙げられる。

モータシステムをシミュレーションするということは、モータそのものをシミュレーションするだけでなく、そのモータを制御するコンピュータシステムやモータの負荷までを忠実に再現し、その中に今回開発するプログラムを実装してテストできることが必要である。

そこで、シミュレーション環境を実現するためには、下記課題を解決する必要がある。

- ハードウェアを忠実に再現する。
⇒モータモデルを理論式に基づき正確に作成する。
- シミュレーション用コンピュータの処理負荷を抑止する。
⇒再現するシステムをあまり細かく再現しすぎると遅くて使い物にならないことを考慮する。
- シミュレーションを使用する場面とそこで検証したい項目を掲げる。
⇒実開発環境のすべてを再現するには限界があるため、このシミュレーションを使用するシーンに則した最適な構成を検討する。

委員会や技術検討会におけるアドバイザからの助言、及び開発工数や期間から、今回のケースに対する最適な構成を導き出し開発することとなった。

開発するシミュレータの構成としては、マイコンモデルとモータモデルに大別できる。

マイコンモデルにはSH2ACPU コアを持ち、モータ制御に必要な周辺機能モデルを備えた提供モデルを利用し、モータモデルは界磁巻線形同期モータを理論式ベースにモデル化を行った。

上記のマイコンモデルとモータモデルを結合し、仮想モータ制御環境を構築した。

構築したシミュレータはモータ制御ソフトウェアをロードすることで、PC 上でモータモデルや制御ソフトウェアの動作検証が可能となる。

作成したモータモデルをRTL にエクスポートし、サブテーマ②で開発した模擬基板上のFPGA に焼き込むことにより、模擬モータとして利用可能である。この模擬

モータの構築は、モータレスでの実基板を用いた制御ソフトウェア/FPGA IP によるモータ制御検証を可能とするものである。

本シミュレーション環境は、ソフトウェア評価時の動作確認、不具合改修に活用された。

サブテーマ⑤

モータ制御用組み込みソフトウェアの開発及び動作検証

担当：株式会社サニー技研

本サブテーマでは、モータ制御用組み込みソフトウェアの設計・実装・動作検証を実施した。動作検証に関してはサブテーマ①で定めた実施フローに則り、安全にかつ効率を考慮した開発を目指した。

開発手順は以下の通りである。

(1) 設計書の作成

サブテーマ①で策定した制御方式・アルゴリズム、有識者からのヒアリングを基に、ソフトウェア構成は階層構造(モータ制御ミドルウェア部、モータ制御ドライバ部)を持たせ、移植性・保守性も考慮した設計とした。

モータ制御処理部に該当するモータ制御ミドルウェアは、定めた制御方式・アルゴリズムを基に構築したモータ制御ブロック図から、各ブロック(PI 制御、dq 変換など)をそれぞれ 1 つの関数として構築し、各関数内部演算は理論式を基に落とし込んだ。

(2) 制御ソフトウェアの実装

組み込みソフトウェアで一般的に使用されている C 言語によるコーディングを行い、コード行数は 1032 行(モータ制御ミドルウェア:820 行、モータ制御ドライバ:212 行)、モータ制御時の CPU 負荷率は 40%であった。

これは、実施計画で目標として掲げているコード行数 8000 行以下、CPU 負荷率 40%以下に対し、満足する結果が得られた。

(3) 模擬環境による動作検証

サブテーマ④にて開発されたシミュレータを用い、作成したソフトウェアの動作確認、不具合改修に役立った。

(4) 実ハードウェア上での動作検証

サブテーマ②にて開発した基板、サブテーマ④で開発された模擬モータを用い、机上用モータ駆動検証、模擬モータ駆動検証を実施した。共に作成ソフトウェアの動作確認、不具合改修に役立った。

また、机上用モータ駆動検証から、駆動モータに関連するパラメータの変更のみで机上用モータ制御を確認し、多種モータ・レゾルバに対応できるようなミドルウェアを確立できた。

(5) 界磁巻線形同期モータを結合した状態での動作検証

サブテーマ②にて開発した基板と界磁巻線形同期モータを接続し動作検証を実施した。

実施方法はサブテーマ①にて策定した検証項目・手順に則り実施し、電源電圧を絞った条件下ではあるが、界磁巻線形同期モータ制御の確立に至った。

サブテーマ⑥

モータ制御用 FPGA IP の開発

担当：匠ソリューションズ株式会社

サブテーマ⑤においてソフトウェアで解決困難な処理負荷を低減させる事が本サブテーマの目的である。実際にソフトウェアを制御装置に組み込む際は、モータ制御の機能だけを搭載するわけではなく、周辺機能の制御を搭載する事になる。そのため、ソフトウェア処理負荷の低減は非常に重要なテーマとなる。そこで、ソフトウェアで担っていた制御を FPGA で行うことでソフトウェアの処理負荷を低減する事が本サブテーマの概要である。

本サブテーマでは、サブテーマ①にて得られた制御方式に基づき、FPGA に搭載される IP の設計・実装・動作検証を実施した。

本サブテーマで設計した IP では、FPGA のみでモータ制御を行う事が出来るように設計した。また、汎用性を考慮して、FPGA での制御だけでなく、ソフトウェア + FPGA でのハイブリッド制御も出来るようにした。

設計の際に、本研究開発におけるアドバイザより、制御方法に関わるいくつかのアドバイスを頂いている。

本サブテーマでの主たる成果は下記のとおりである

(1) 設計書

FPGA IP の要件、アルゴリズムから検討した設計書の作成を行った。

(2) FPGA 回路

(1)に基づき、IP を記述する言語である Verilog HDL を用いてソースコードを記述し、シミュレーションを行った。その後、FPGA 開発ツールを用いて、FPGA に実装可能な回路データを作成した。また、以下の事項を達成する事が出来た。

- 汎用 I/F の実装
- 制御周期：約 10μsec
- スライス数：約 4000 スライス

(3) 動作検証

界磁巻線形同期モータ動作検証に至るまでに、段階を踏んだ検証を実施

- ・ 机上用モータによる動作検証 (サブテーマ②、④成果物)
- ・ 界磁巻線形同期モータによる動作検証(サブテーマ②、③成果物含む)

サブテーマ①で策定した検証項目・手順に則り、界磁巻線形同期モータ動作検証の実施、およびモータ制御用 FPGA IP の確立を行った。

以上より、本サブテーマでは十分な成果が得られたと言える。

これにより、界磁巻線形同期リアースレスモータの早期市場導入が期待できると考えている。また、本サブテーマの成果である汎用 IP、制御周期とスライス数は、今後開発されるであろう、どのようなモータにも有効であると考えするため、本サブテーマで開発した IP が界磁巻線形同期リアースレスモータだけでなく、様々なモータの早期市場導入を促すものとなり得ると考えている。こういったことから、本サブテーマで開発した IP 自体にも価値があると考え、本研究開発の統合的な展開だけでなく、IP 単体で川下産業に展開して行くことも考えている。

1-4 当該研究開発の連絡担当窓口

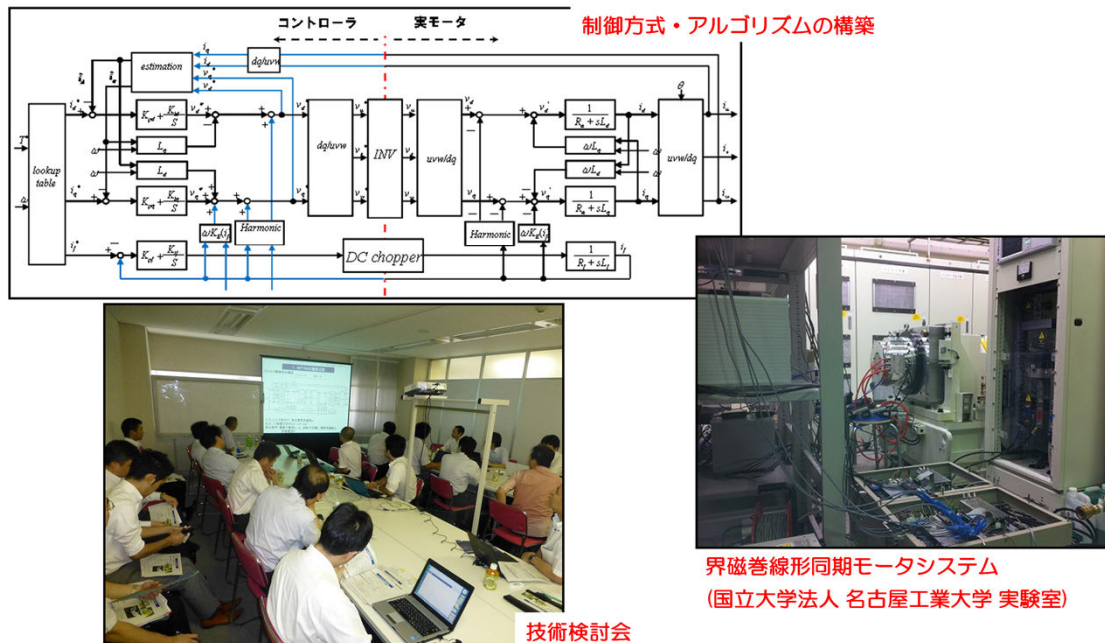
所属： 公益財団法人名古屋産業科学研究所 中部 T L O 産学連携支援部
連絡担当者名・役職：山田 義憲・担当部長
TEL：052-783-1255
FAX：052-788-6012
E-mail：yyamada@nisri.jp

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。

2-1 サブテーマ①

界磁巻線形同期モータモデルならびに制御アルゴリズムの構築



本サブテーマでは、モータ制御、車載組み込みソフトウェアの専門家からのヒアリング及び技術指導による制御方式の仕様化、各サブテーマに対する要求策定、展開が主な実施内容である。

本研究を実施するに当たり、安全かつ効率的に開発を進めるため以下のような実施フローで段階を踏んだ検証を行い、最終ターゲットである界磁巻線形同期モータ検証に臨むこととした。

[実施フロー]

- STEP1：机上用モータ検証(サブテーマ②、③、⑤、⑥成果物を使用)
- STEP2：シミュレータ検証(サブテーマ④、⑤成果物使用を使用)
- STEP3：模擬モータ検証(サブテーマ②、③、⑤、⑥成果物を使用)
- STEP4：界磁巻線形同期モータ検証(サブテーマ②、③、⑤、⑥成果物使用を使用)

また、各サブテーマに対し解決すべき内容として以下6項目に分け要件策定を実施した。

- 1.制御方式及びアルゴリズム(関連サブテーマ：②～⑥)
 - ・効率良く、緻密な制御を行うためにベクトル制御、フィードバック制御を用いる。
 - ・モータ機器定数や接続インタフェースなど実モータシステム(界磁巻線形同期モータ、レゾルバ、インバータユニット)仕様の明確化を行う。
- 2.制御コンピュータ用のソフトウェア、FPGA IPとの制御機能分担(関連サブテーマ：⑤、⑥)
 - ・制御ソフトウェア/FPGA IP各々独立してモータ制御を行い、各々の有用性を確認する。
- 3.リアアースレスモータ制御に必要なハードウェア要件(関連サブテーマ：②)
 - ・実施フローに従い制御ソフトウェア/FPGA IPの模擬開発、実機開発への柔軟な対応も考慮して、それぞれが分割・結合できるような構成とする。
- 4.試験・評価に必要な開発環境の要件(関連サブテーマ：③、④)

[計測ツール]

- ・評価時の作業性が良く、計測データ表示・記録が可能なWindows OS用ツールとする。
- ・毎モータ制御周期の内部情報の取得に対応な高速ロギング機能を有する。

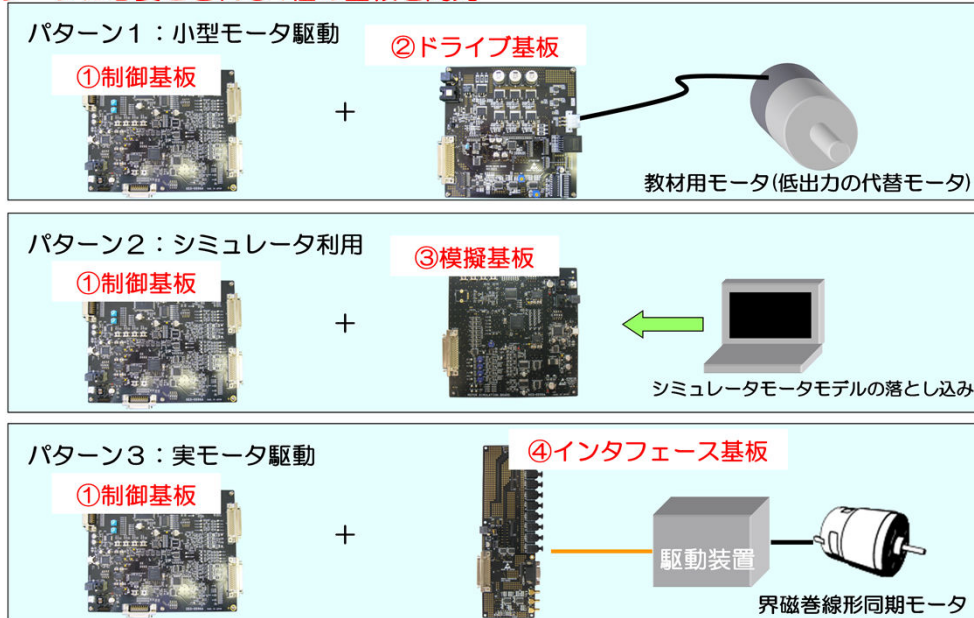
[シミュレータ環境]

- ・モータモデル構築のための理論式を確立する。
- 5.組み込み制御ソフトウェアに対する要求事項(関連サブテーマ：⑤)
 - ・階層構造とし、理論のみならず、移植性・保守性も考慮したソフトウェア構成とする。
 - 6.リアアースレスモータ制御に対する検証内容(関連サブテーマ：⑤、⑥)
 - ・安全面、問題点の切り分けやすさを考慮し、センサ、界磁巻線側、電機子巻線側というように段階を踏んだ検証工程を確立する。

2-2 サブテーマ②

モータ制御評価のための評価用電子回路の開発

各パターンに必要とされる4種の基板を開発



本サブテーマでは、レアアースレスモータ制御開発の最適な電子回路を開発・試作を目的とする。

図中のように制御ソフトウェア/制御FPGA IPの模擬開発、実機開発への柔軟な対応も考慮し、それぞれ分割・結合可能な構成とするべく4種の基板を開発し、各システムにおいて、モータ制御ソフトウェア/FPGA IPの動作検証に至った。

開発した4種基板は以下の通りである。

①制御基板

メイン基板

MCU、FPGAを搭載し、またそれぞれに対するプログラム書き込みのための機構や電気信号を取得する機構を備えている。実モータ試験環境に耐えうる耐ノイズ性の確保、マイコン側とFPGA側が独立した制御が可能。

②ドライブ基板

机上用モータ駆動基板

過電流保護、回生電圧対策など多保護機能を搭載しており、安全なモータ制御ロジックの確認が可能。

③模擬基板

モータ模擬基板

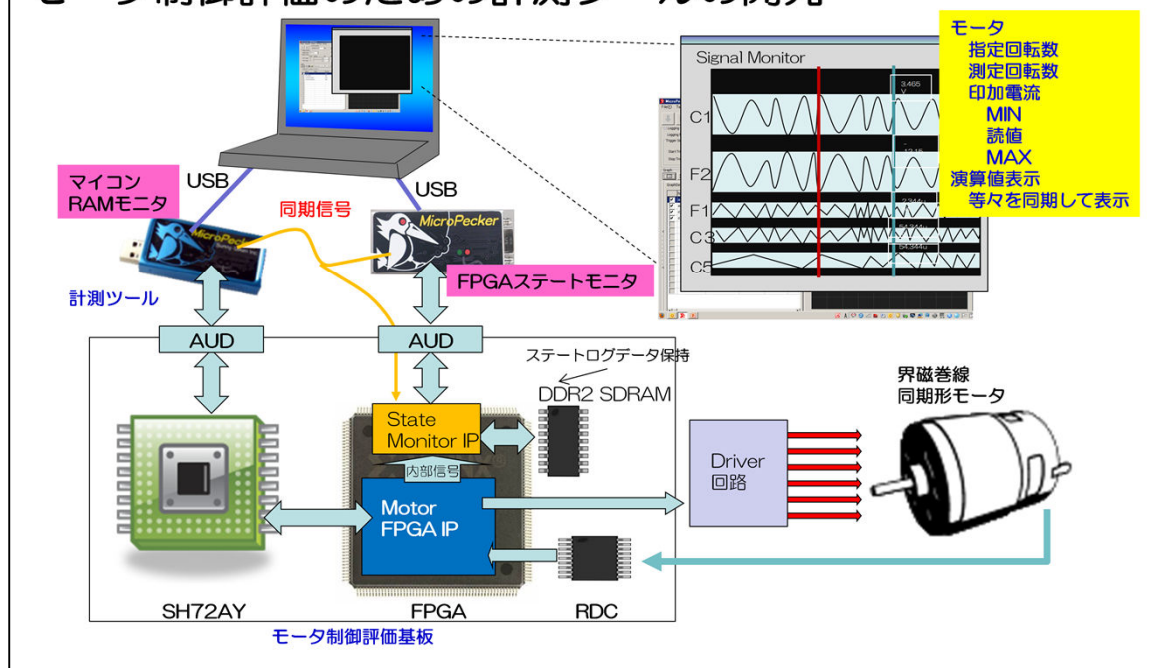
基板上FPGAにモータモデルを焼き込むことによりモータモデルシミュレーションが可能。

④インタフェース基板

実システムとの接続用基板

制御基板と実システムとの信号授受を仲介、界磁巻線形同期モータ動作検証を可能とする。

2-3 サブテーマ③ モータ制御評価のための計測ツールの開発



本サブテーマでは、レアアースレスモータ制御開発に必要なデータ計測ツールの設計・試作・実証を行った。評価時の作業性が良く、計測データの記録可能なWindows OS用マイコン/FPGA IP用計測ツールの開発を実施した。

- ・モータ制御ソフトウェア向け：マイコン高速RAMモニタ
- ・モータ制御FPGA IP向け：FPGAステートモニタ

[利点]

デバッグなどで変数を見る場合は、一度ターゲットシステムをブレイクし、値を取得する作業が必要となるが、計測ツールの機能によりターゲットシステムをブレイクすることなくデータを監視することができる。

モータ制御などブレイクすることができないシステムにおいて、パラメータを常時監視したい場合に有用である。

[役割]

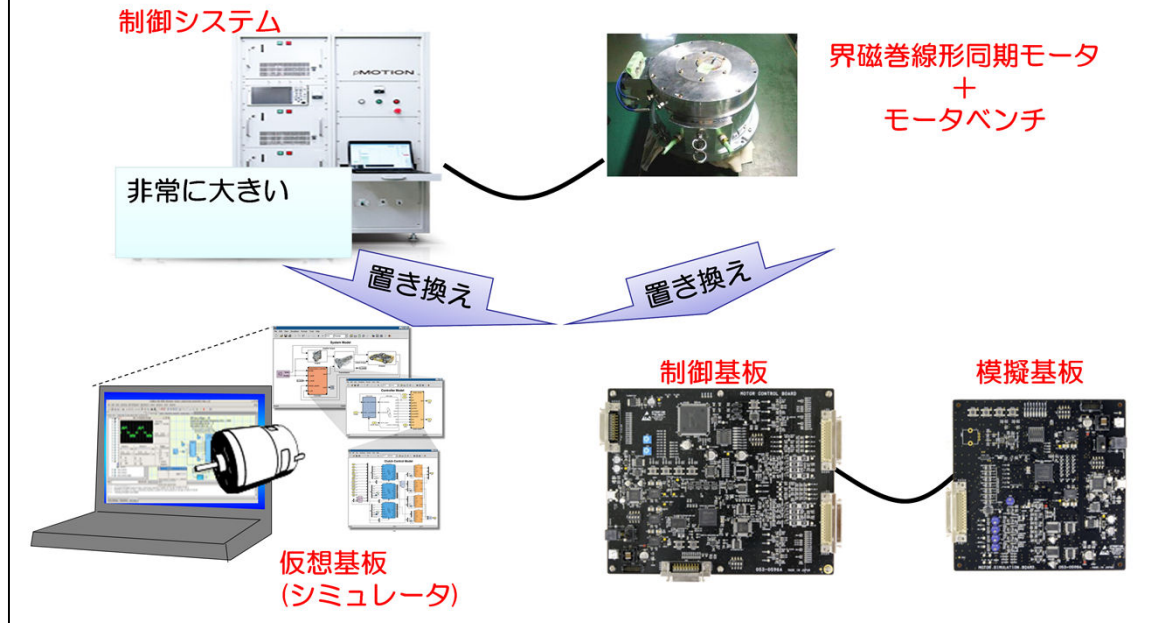
モータ開発における役割について、電力ロスを軽減させつつ、最大限のトルクを引き出すためには細かいパラメータ制御が必要になる。

複数点のパラメータを同時計測、同時解析できるツールを開発することにより、モータ開発における開発時間短縮に貢献することができる。

研究成果について、高速RAMモニタは、使用を想定していた高速版USBドライバ開発は仕様の作成、実装については完成したが、実用までは至れていない。合わせて、マイコンRAMモニタとFPGAステートモニタの同期機能は仕様策定までとした。

FPGAステートモニタについては、界磁巻線形同期モータ検証時にも利用されノイズの影響もなく実用的なデータ取得を確認した。

2-4 サブテーマ④ モータをシミュレーションするためのツールの開発



本サブテーマでは、モータ及びモータをドライブする電子回路と置き換えが可能なシミュレーション環境開発を目的とする。また、研究ターゲットである界磁巻線形同期モータは大型で持ち運ぶことが困難であるため、各研究員の机上にて使用可能な設置性の高い小型のシミュレーションツールを実現する。

本サブテーマ成果物である模擬環境の実現は以下のような事項に対し有用である。

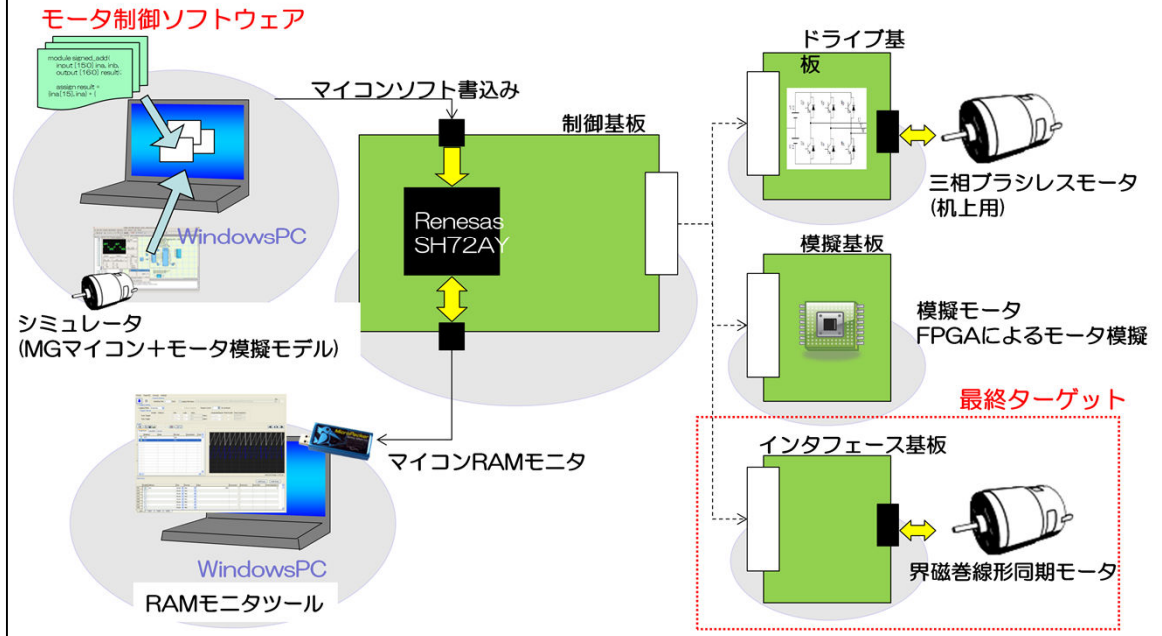
- ・実機完成前からのソフトウェア開発、開発期間の短縮。
- ・ソフトウェア不具合によるモータ、回路の破損や実験者への危害といった危険性の回避。
- ・複数人による小スペースでの開発。
- ・実機では再現困難な故障注入による試行、検証。

主たる実施内容は以下の通りであり、実施計画に対する成果を実現した。

- 1.SH72AYマイコンモデル
 - ・SH2ACPUコアを持ち、モータ制御に必要な周辺機能モデルを備えたマイコンモデルを利用。
- 2.モータモデル
 - ・界磁巻線形同期モータを理論式ベースでモデル化。
- 3.仮想基板(シミュレータ)の作成
 - ・上記2つのモデルを結合し、仮想モータ制御環境を構築。
 - モータ制御ソフトウェアをロード、PC上でモータモデル、制御ソフトウェアの挙動を確認。
- 4.模擬基板の作成
 - ・SPWモータモデルをFPGAに搭載し、模擬基板を作成。
 - SH72AYマイコンを搭載した制御基板との接続により、実モータレスでの検証を実施。

2-5 サブテーマ⑤

モータ制御用組み込みソフトウェアの開発及び動作検証



本サブテーマでは、サブテーマ①にて得られた制御方式に基づき制御ソフトウェアの設計・実装・動作検証を行う。

開発手順を以下の通りである。

1.設計書の作成

- ・ソフトウェアの移植性、市場要件、知見者からのヒアリングなど考慮し、設計書を作成。

2.制御ソフトの設計

- ・組み込みソフトウェアで一般的に使用されているC言語による設計。
- ・パラメータ変更により多種モータに対応できるソフト構成、ミドルウェア化。
- ・内部演算値と物理値との対応が取りやすいこと考慮の上、「float」によるソフト内演算。
- ・「float」による演算処理時間高速化のため、「浮動小数点ユニット(FPU)」の使用。

3.模擬環境による動作検証

- ・作成したソフトウェアの検査、デバッグ。
- ・界磁巻線形同期モータ検証にて得られたデータ、知見をモータモデルへフィードバック。

4.実ハードウェア上での動作検証

○ドライブ基板を用いた机上用モータによる検証

- ・作成したソフトウェアの検査、デバッグ。
- ・ミドルウェア化の検査。

○模擬基板を用いた仮想モータによる検証

- ・作成したソフトウェアの検査、デバッグ。
- ・界磁巻線形同期モータ検証にて得られたデータ、知見をモータモデルへフィードバック。

5.界磁巻線形同期モータを結合した状態での動作検証

- ・基板、ツール接続含め、最終ターゲットである界磁巻線形同期モータの動作検証。

上記開発手順に則り、設計・検証を実施、電源電圧を絞った条件下ではあるが、最終ターゲットである界磁巻線形同期モータ制御の確立に至った。

2-6 サブテーマ⑥ モータ制御用FPGA IPの開発

特徴	・従来同期モータに加え、界磁巻線形同期モータの制御が可能 ・IP単独でモータ制御が可能 ・トルク指令、及び、電流値指令での制御が可能 ・従来の三相ベクトル制御、フィードバック制御に加え、フィードフォワード制御、ノイズ除去、界磁巻線電流電力制御が可能 ・モニタツールを併用してIP内部の電流値、電圧値、制御演算値、角度等、デバックに必要な情報が可視化 ・多摩川精機 RDC AUD6803用のコントローラ搭載
制御速度	10 μ sec周期でモータ制御が可能 (キャリア周波数：～100kHz)
適用FPGA	Xilinx Spartanシリーズ/Virtexシリーズ/Kintex7/Artex7 Altera Cycloneシリーズ/Arriaシリーズ/Stratixシリーズ ※4000スライス程度使用
動作クロック	入カシステムクロック：40MHz 入カシリアル通信クロック：5MHz DDR2 I/F：200MHz (400MHz動作)
出力端子	・三相制御用6本(UP,UN,VP,VN,WP,WN) 界磁巻線用4本(F1P,F1N,F2P,F2N) ・三相PWM波形出力及び矩形波出力（動的に切り替え可能） ・High/Lowアクティブ変更が可能 ・キャリア半周期毎に16bitタイマで設定可能 ・キャリア周期及びPWMデューティ変更タイミングは、キャリアの谷、山、谷山両方で実行が可能 ・三相PWM出力幅は、0x0000～0xFFFFの間で変更可能。（0%～100%デューティの出力可能） ・矩形波出力パタンの設定可能 ・短絡防止時間は、0～キャリア周期/2までの値を設定可能

本サブテーマでは、サブテーマ①にて得られた制御方式に基づき、FPGAに搭載されるIPの設計・実装・動作検証を実施した。

動作検証までのプロセスは、以下の通り。

1. FPGA IPの要件、アルゴリズムを策定し、設計書を作成した。
2. VerilogHDLを用いてソースコード(RTL)を記述した。
3. ソースコード(RTL)のシミュレーションを行った。
4. FPGA開発ツールを用いて、FPGAに実装可能なデータを作成した。
5. 机上用モータ及び界磁巻線形同期モータを用いた動作検証を行った。

FPGA IPの要件に関しては、上記表のような要件を策定した。

また、動作検証において本サブテーマでは、Xilinx Spartan6 XC6SLX45を使用して動作検証を行っている。

上記のプロセスを経て界磁巻線形同期モータ検証を実施し、モータ制御FPGA IPの確立に至った。

第3章 全体総括

3-1 研究開発総括

レアアースレスモータである界磁巻線形同期モータのためのモータ制御用組込みソフトウェアの開発、および、モータ制御用 FPGA IP の開発を本事業における研究成果として完了しその目標が達成された。

今回の開発は、レアアースレスモータというこれまでにないモータを制御することを目標に置いての研究開発であるが、モータの開発を理論から実装に至るまでのプロセスに対して工夫やアドバイザからの助言を受けることで、上位設計に戻っての設計を最小限に抑えることが可能となった。今回対象とした界磁巻線形同期モータは従来のモータの制御に対して、計測や制御をするための機構や調整が複雑になっているものの、永久磁石を取り除くことにより資源問題の解決を図れるだけでなく、永久磁石に相当する部位の磁力を可変にできるため、永久磁石モータが抱える問題に対しても有効な手段を取ることが可能となる。本事業で開発されたモータ制御用組込みソフトウェア、および、モータ制御用 FPGA IP を活用することが、レアアースレスモータ導入を加速させ、永久磁石モータの抱える問題の早期解決へ導く。

組込みソフトウェアおよび FPGA IP 開発のための開発プロセスを支援するためのシステム及び機器開発についてもその有効性が確かめられた。

成果1：モータ制御評価のための計測ツールの開発

モータ制御を検証するためのツールとして RAM モニタは有効なツールであるが、本研究ではアドバイザの助言から、マイコンの状態を検証するためのツールに加えて FPGA の状態を検証するためのツールを開発することになった。今回、ツールの高速性を追求するだけでなく、FPGA を効率よく開発するためのツール開発と導入により、これまで困難であった FPGA の演算結果をトレースしながら問題箇所を明確化する作業時間が 1/3 に低減された。

成果2：モータをシミュレーションするためのツール開発

マイコンとモータを仮想化し、PC 上で開発ができる環境を同時に開発した。今回の界磁巻線形同期モータは大型モータで専用の施設でないと利用ができないことや、制御するときに大電流を使用するため、実際のモータを使った評価作業に制約事項が伴う。今回、シミュレーション環境を用意することにより、実機での評価前に多くの不具合を修正することを可能にし、実機に要する作業時間を 1/2 に抑えることが可能となった。

成果3：モータ制御評価のための評価用電子回路の開発

界磁巻線同期モータを制御するためのハードウェアはこれまでのモータとは異なったものとなるため、実験・評価のために新しい制御用のコンピュータを含めた

電子回路が必要になるため、新たに開発した。またモータを開発するプロセスの議論から、コンピュータを含んだ制御ユニットと最終的にモータを駆動する部分の電子回路を分離する構造を取ることで、開発効率化を達成させた。

本研究としては、開発プロセスに有効なツール、及び電子回路においてもモータ制御開発を支援する重要な開発成果として位置づけられたことにより、モータ制御のためのソフトウェアだけでなく、ソフトウェア開発を支援するためのインフラも整備できたことは、今後のレアアースレスモータ浸透のために大きく貢献できることが期待できる。

3-2 研究開発後の課題

本研究により、レアアースレスモータである界磁巻線形同期モータ制御のための組み込みソフトウェア。ならびに FPGA IP の基盤提供ができるようになった。これらを、界磁巻線形同期モータとして今後登場するあらゆるレアアースレスモータに対応させるためには、モータ固有パラメータやアルゴリズムをいかに容易に組み入れ、調整できるかが課題として存在する。また本研究開発では「制御」を対象としているため、信頼性、フェールセーフ、ソフトウェアの最適配置という観点では改善の余地が残されている。

さらには、従来から存在するレアアースモータが市場から完全に淘汰されていくというのではなく、レアアースレス・レアアース両者のモータが今後発展をしながら共存することが予測される。従って、今回の成果を従来モータへも活用できるようにするための切り替え機構などが実現されれば、市場として幅広く浸透させることが期待できるであろう。

また、今回の研究過程で開発されたプロセスを支援するためのシステム・機器は、開発のためには有益な手段であることが証明された。しかし、製品化のためには市場ニーズのフィードバックならびに機能補完、品質確保が必須となる。

以上を含め、本研究開発にて取り組むべき課題について以下列挙する。

(1) インバータ電源電圧、DC チョッパ電源電圧の引き上げ

高電圧下でのモータ制御を実現するために必要となる事項として、フェールセーフ機能の実装が挙げられる。例えば、意図せぬ過電流が流れようとする際にはモータ制御を停止するなどのリミット処理である。十分なフェールセーフを実装したうえで段階的に電圧の引き上げを実施することにより、本課題の達成が可能である。

(2) ソフトウェア、IP の汎用化

汎用性に対するアプローチとして、多種のマイコンならびに FPGA に対応することが挙げられる。浮動小数点ユニット(FPU)を使用せず、float 型の内部演算を量子化演算とすることで、FPU が搭載されていないマイコンへの適用も可能となる。

(3) FPGA IP における制御周期の短縮

現状充分ニーズに応え得る制御周期ではあるが、将来的には高速化が必要となる

と考えている。現状の制御回路を最適化する事で、制御周期を短縮する事が可能である。目標値としては、現状の半分である 5usec 制御周期を達成させる。

(4) モータ制御評価のための計測ツールの RAM モニタの実用化

RAM モニタ・FPGA ステートモニタの基本機能は確立したが、一般市場で受け入れてもらうためには、導入を容易するための機能改善や、コストを抑えるための改良が必要である。また、モニタリングデータの同期等が評価終了後に課題として挙げられたが、他にも市場のニーズとして必要な機能や性能なども考えられるため、今後の開発課題として取り組んで行く必要がある。

(5) モータをシミュレーションするためのツールの開発

本研究において、実システムを机上にて模擬可能なシミュレーションツール(シミュレータ、模擬基板)を開発したが、更なるレベルアップ項目として以下の 2 点が挙げられる。

- ・モータモデル及びベンチのシミュレーション精度向上

作成したモータモデルは、電流が実機で測定した値を完全に模擬できていないなど精度向上の余地がある。またシミュレーションされたモータへの負荷としては本研究では固定速度を与えて実施していたため応用には改良が必要となる。シミュレーションの応用性を向上させる方法としては負荷を制御することで速度を固定する機構(PI 制御)を付加することが望ましい。

- ・ユーザインタフェースの充実

シミュレータはモータや電子回路を模擬することは可能だが、その状態を可視化する機能については改善の余地がある。設計時に監視したい事象を調べるために直接的な方法が取れないケースもあるため、技術者ニーズ、市場ニーズから有効な可視化手段を検討する。

3-3 事業化展開

界磁巻線形同期モータが市場としている自動車関連企業では、EV/HV 自動車が今後の成長分野であるが、一方産業分野需要においても小型化、耐久力向上、省電力化を目的として、ブラシ付モータからブラシレスモータへの移行も進んでいる。またレアアースを使用しないモータは希土類元素の入手問題のため、今後市場の一部を担っていく方向であることから、本事業で開発された成果は、成長する今後のモータ市場を担っていくための重要なパーツとして期待される。

本研究開発によって得られた成果を製品化することに基づき、下記のような製品と事業を展開する。

事業 1：界磁巻線形同期モータ制御用ミドルウェア販売

事業 2：界磁巻線形同期モータ制御用 IP 販売

事業 3：界磁巻線形同期モータ評価システム販売

事業4：界磁巻線形同期モータ対応開発支援ツール販売

事業5：界磁巻線形同期モータ対応シミュレーションシステム販売

以下、上記事業内容それぞれについて説明をする。

事業1：界磁巻線形同期モータ制御用ミドルウェア販売

【株式会社サニー技研】・・・市場規模：0.1～0.6億円／年

国内10社の自動車関連企業が、毎年2車種EV/HV自動車を発表し販売を考えると、トータル20車種の自動車が毎年開発されることになる。EV/HV自動車1台につき少なくとも1個の駆動用のモータ使用されるため、国内でトータル最少20種類のモータ制御用電子回路の開発がなされる。電子回路種数の25%が本事業化で開発された界磁巻線形同期モータ制御用ミドルウェアを採用し、モータを応用して製品を開発・評価するためのプロジェクトあたり10本投入されることを想定すると、毎年50本の販売が期待される。また、産業用への波及として、産業用ロボット、FA関連企業へ導入されることを考慮して+10本の採用を期待すると、EV/HV自動車用と合わせトータルで毎年60本の需要が見込まれる。

事業2：界磁巻線形同期モータ制御用IP販売

【匠ソリューションズ株式会社】・・・市場規模：0.1～0.8億円／年

国内5社の半導体関連企業が、毎年4種類のEV/HVモータ制御用のマイコン（制御用コンピュータ）を発表し、販売を考えると、トータル20種のマイコンが毎年開発されることになる。マイコン種数の25%が事業化で開発された界磁巻線形同期モータ制御用IPを採用し、開発プロジェクトあたり5本投入されることを想定すると、毎年25本の販売が期待される。また、自動車関連産業、航空機産業、産業用ロボット、FA関連企業が自社のASIC用に採用するケース用として年間+5本を採用することを期待すると、トータル30本の需要が期待される。

事業3：界磁巻線形同期モータ評価システム販売

【株式会社サニー技研、匠ソリューションズ株式会社】・・・市場規模：0.1
～0.5億円／年

自動車産業、FAロボット産業、教育機関では、界磁巻線形同期モータの導入に向けた実験、評価、教育のための安価な導入システムが必要となる。自動車関連企業が10社、半導体関連企業5社、理工系大学・専門学校10校が毎年4セットずつ購入したとして、100セットの販売が期待される。

事業4：界磁巻線形同期モータ対応開発支援ツール販売

【株式会社サニー技研、匠ソリューションズ株式会社】・・・市場規模：0.1
～0.5億円／年

自動車産業、FAロボット産業、教育機関では、界磁巻線形同期モータを応用した製品を開発するためには、制御のための演算結果をリアルタイムでモニタしながら記

録する RAM モニタが不可欠である。本事業で開発された RAM モニタを製品化し市場に投入する。本製品は界磁巻線形同期モータ以外のモータや産業機器の開発などにも利用が可能であるため、モータ以外のニーズにも対応させることにより広く市場に浸透させることが可能である。

事業5：界磁巻線形同期モータ対応開発シミュレータ販売

【株式会社サニー技研】・・・市場規模：0.1～0.5億円／年

界磁巻線形同期モータをパソコン上でシミュレーションできるシステムは、実機を用いずにモータ制御ソフトウェアを開発できるだけでなく、実モータや制御電子回路を故障モードに切り替えてソフトウェアが正しく動作できるかを検証するためのツールとしても活用が可能である。またモータモデルを容易に変更できるため、特性の異なる新たなモータを制御する場合でも、実モータを用意せずとも設計上で問題を見つけることが可能になるなどソフトウェア開発コストの低減や問題早期発見についても期待ができる。

＜事業モデル及び枠組み＞

事業化は株式会社サニー技研、匠ソリューションズ株式会社の2社が主体となり進める。

主に、日本国内における西日本側を株式会社サニー技研、東日本側を匠ソリューションズ株式会社が担うことにより地域に密接した販売活動、サービスを提供することを目指す。将来は事業拡大に伴い多くの人材が必要となるが、株式会社サニー技研、匠ソリューションズ株式会社が中心となり、地域の中小企業と連携することにより市場の拡大を目指す。そのためには早期の製品化、人材育成などの課題があるが、技術については名古屋工業大学、名古屋市工業研究所、ルネサスエレクトロニクス株式会社、市場への参入については菱電商事株式会社、名古屋産業科学研究所からの支援体制を構築する。川下製造業者からの支援としてトヨタ自動車株式会社及びデンソー株式会社のアドバイザー体制を得ることで、より市場ニーズに則した製品化を目指す。

製品の市場としては、まずは自動車分野を目指す。その他産業分野として工作機械、航空産業への拡大も進める。またFPGA IPはマイコン機能への実装や専用ASIC化も期待されるところから、半導体産業への開拓も平行して進める。

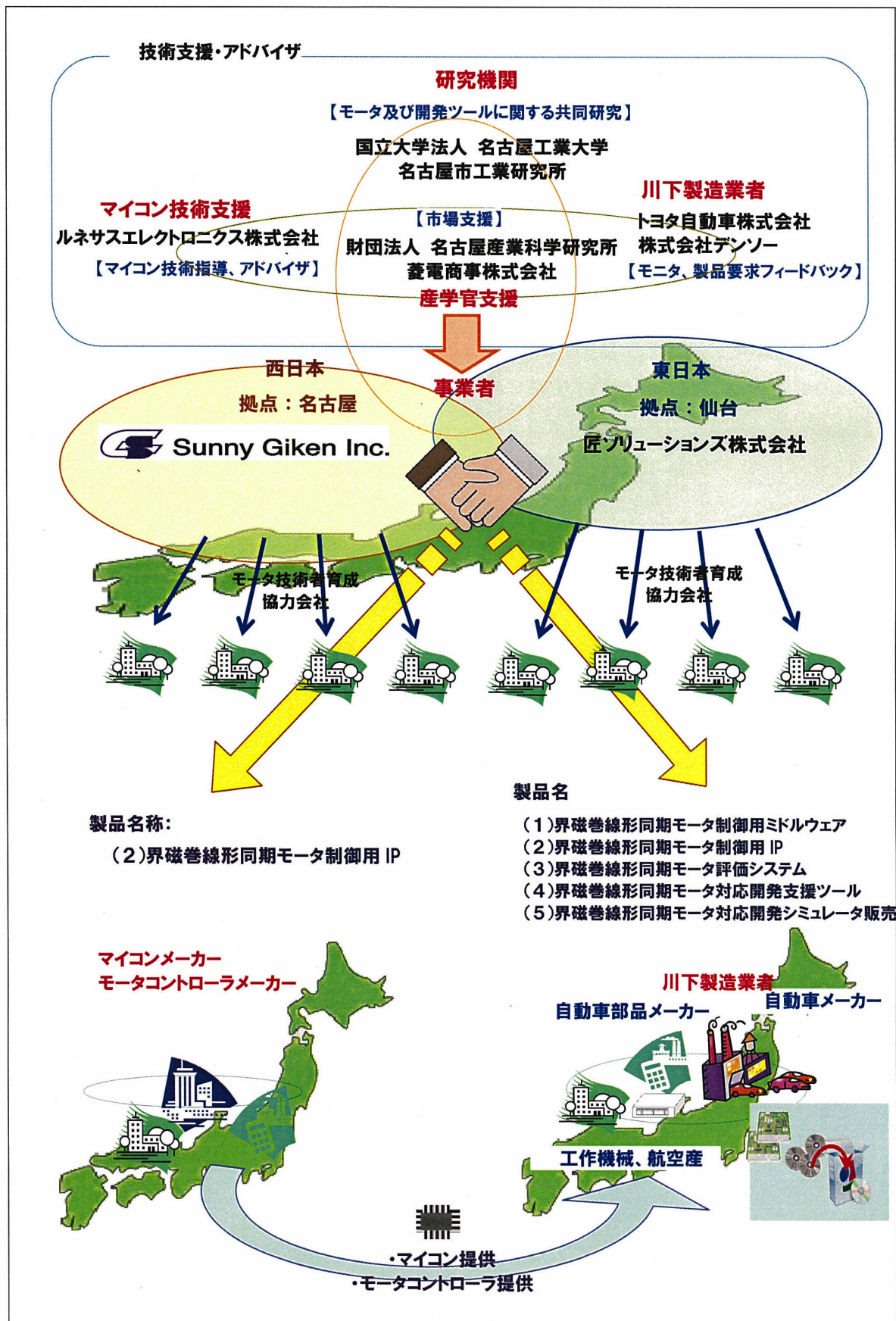


図3-1 事業モデル及び枠組み

<製品化と補完研究>

事業１～５の製品化のためには、課題克服及び製品化のための開発が必要となる。

株式会社サニー技研、匠ソリューションズ株式会社は引き続き補完研究を進めることで、これら課題解決と各々成果の更なる品質向上、機能向上を目指し、成果の事業化を目指す。

以上

<用語集>

No.	用語	意味
1	レアアースレスモータ	レアアースを使用しないモータの総称。 自動車駆動用モータの構成部品の一つであるネオジム磁石にはレアアースであるネオジム、ディスプロシウムなどが含まれていることから、昨今のレアアース問題の打開策の一つとしてレアアースレスモータが注目されている。
2	界磁巻線形同期モータ	レアアースレスモータに属し、その特長は長期信頼性、低損失、冷却容易、高速回転に好適などが挙げられる。 制御に関しては、永久磁石の性質を界磁巻線側の制御により代替し、三相巻線側の制御は従来型のモータ制御手法で行える。 但し、高効率駆動には電機子巻線制御、界磁巻線制御における相互の影響を考慮することが重要となる。 巻線界磁形フラックススイッチングモータとも呼ばれる。
3	ベクトル制御	モータ制御手法の一種。 モータに流す三相交流に対し、数学的演算を用いてシンプルな直流信号に変換することで三相交流を取り扱い易くし、直流モータ制御のように瞬時のトルクの制御が容易となる。 このように二次元のベクトル量で表現し、このベクトル量を制御することによりモータの瞬時トルクを制御できることから、ベクトル制御と呼ばれる。
4	フィードバック制御	制御対象の状態を検知し、制御側からの入力に対して意図した動作を行うように出力を制御する手法。PI制御もフィードバック制御の一種である。一般的に、モータ制御では角度、電流値をフィードバックし制御を行う。 このようにフィードバック制御は、外乱(制御を乱すような外的な要因)が生じても、その影響が制御対象に現れれば、直ちにフィードバックされて適切な値に修正することが可能である。対して、外乱が生じた場合、制御対象に影響が現れる前に、前もって影響を失くすような修正動作を行う手法をフィードフォワード制御という。
5	レゾルバ	角度検出器の一種。 耐環境性に優れており、近年、EV/HVの走行用モータやパワーステアリングの駆動用モータなどに利用されている。 レゾルバを利用するに当たり、レゾルバの出力信号をデジタルの角度データに変換する機能を有するRDコンバータが必要である。レゾルバとRDコンバータの組み合わせることにより、デジタル角度センサとして役割を果たすことができる。
6	インバータ	直流電力から交流電力を電氣的に生成する電源回路。 三相モータ制御においては、六つの半導体スイッチを用いて三相交流を生成するインバータ回路が主に利用される。 主に用いられるスイッチング素子は、IGBT(絶縁ゲートバイポーラトランジスタ)やパワーMOSFET(電界効果トランジスタ)がある。また、近年、小型化、性能向上の面からSiC(炭化ケイ素、シリコンカーバイド)を材料としたパワー半導体が注目されている。