

新エネルギー技術開発プログラム／次世代蓄電システム実用化戦略的技術開発

## 「次世代自動車用高性能蓄電システム技術開発事業」 (中間評価)

(2007年度～2009年度 3年間)  
プロジェクトの詳細説明(公開)

### (3) 要素技術開発(周辺機器開発)

NEDO技術開発機構  
燃料電池・水素技術開発部 蓄電技術開発室  
2009年 8月7日

### 1. 事業の目的(基本計画の抜粋)

#### <研究開発の必要性>

蓄電池技術は、燃料電池自動車、電気自動車、プラグインハイブリッド自動車等の次世代クリーンエネルギー自動車に共通するコア技術であり、多様な自動車エネルギー技術の中でも基盤的な性格を持つ。そこで、これらの次世代クリーンエネルギー自動車の早期実用化を促進するために、リチウムイオン電池等の高性能化・低コスト化のための要素技術開発、および電池制御装置やモーター等の格段の高性能化に資する周辺機器の技術開発を行う。

#### <研究開発の目的>

高性能リチウムイオン電池とその構成材料並びに周辺機器(モーター、電池制御装置等)の開発。

#### <実施内容>

3) 周辺機器開発: 格段の高性能化(高効率化・軽量化・コンパクト化)に資する電池制御やモーター等の周辺機器の技術開発を行う。

#### <運営方法>

- ・初年度に公募により実施者を選定するが、2年目以降も必要に応じて公募を行う。

## 1. 事業の目的

表1-3 国産の電動車両のエンジン並びにモータ特性

車名	EV		HEV		
	i-MiEV (三菱自動車)	Plug-in STELLA (富士重工業)	LEXUS HS250H (トヨタ)	新型プリウス (トヨタ)	インサイト (ホンダ)
全長×全幅 ×全高	3,395×1,475 ×1,600 mm	3,395×1,475 ×1,660 mm	4,700×1,785 ×1,505 mm	4,460×1,745 ×1,490 mm	4,390×1,695 ×1,425 mm
車両重量	1,080 kg	1,010 kg	1,640 kg	1,350 kg	1,190 kg
乗車定員	4名	4名	5名	5名	5名
エンジン種類	---	--	直列4気筒 DOHC	直列4気筒 DOHC	直列4気筒 SOHC
総排気量 cc	---	---	2362	1794	1339
最高出力 kW (ps) / rpm	---	---	110 (150) / 6000	73 (99) / 5200	65 (88) / 5800
最大トルク Nm (kgfm) / rpm	---	---	187(19.1) / 4400	142(14.5) / 4000	121(12.3) / 4500
モータ種類	交流同期電動機 (永久磁石式 同期型モータ)	交流同期電動機 (永久磁石式 同期型モータ)	交流同期電動機	交流同期電動機 (永久磁石式 同期型モータ)	交流同期電動機 (薄型DCブラシ レスモータ)
モータ(最高出力)kW (ps)	47 (64)	47 (---)	105 (143)	60 (82)	10 (14)
モータ(最大トルク)Nm (kgfm)	180 (18.4)	170 (---)	270 (27.5)	207 (21.1)	78 (8.0)

## 2. 事業の概要

次世代自動車(HEV、EV、FCV等)の早期実用化に資するために、高性能かつ低コストの二次電池及びその周辺機器の開発を実施。

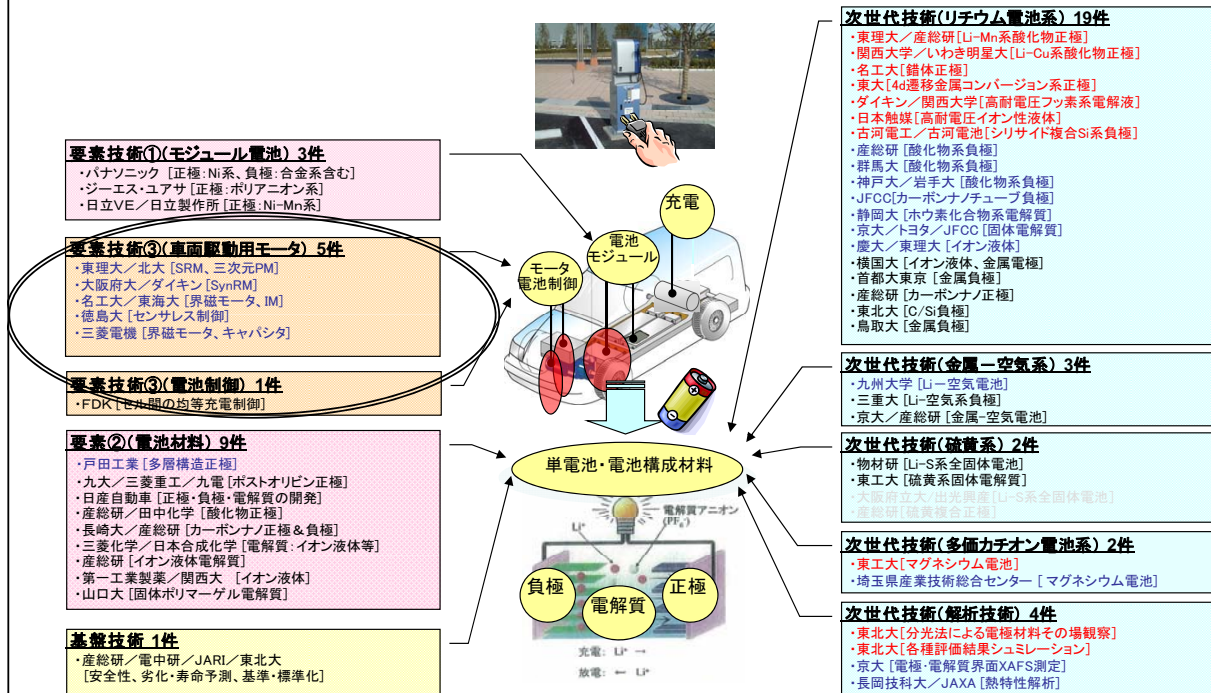


図3-42 次世代自動車用高性能蓄電システム技術開発の研究内容 (平成21年度)  
(本研究開発項目の対象テーマは太枠で囲われている)

## 2. 事業概要

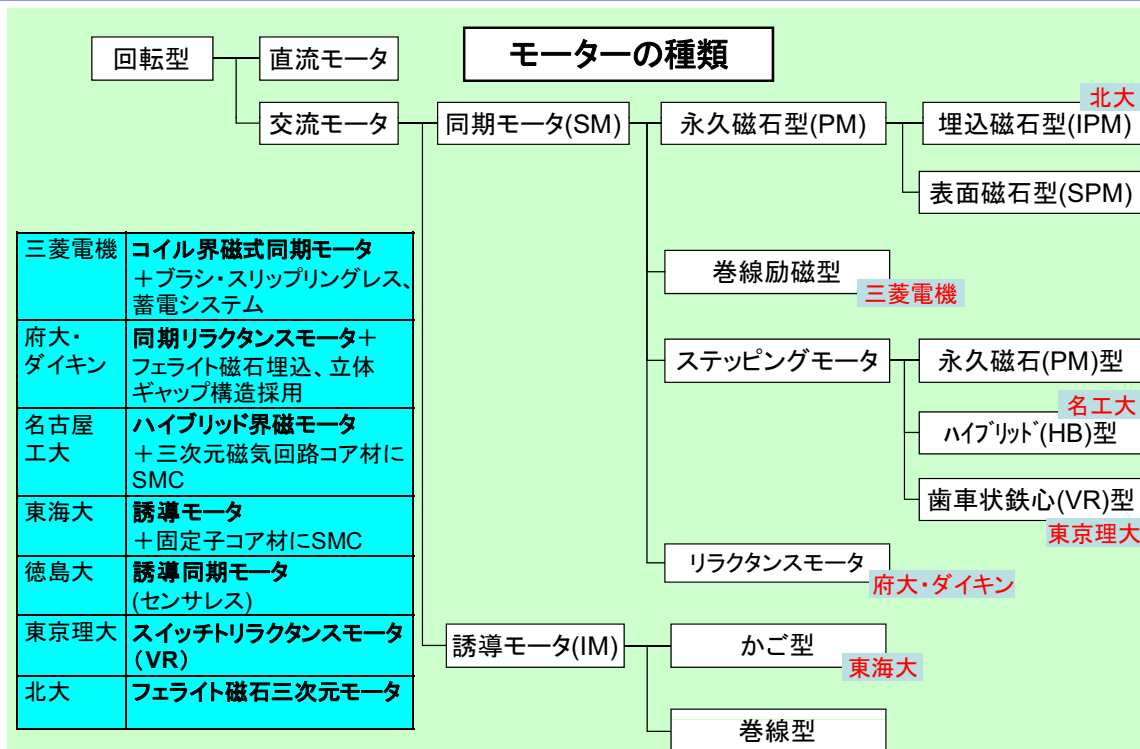


図3-43 モーターの種類

## 3. 研究開発実施スケジュールと予算

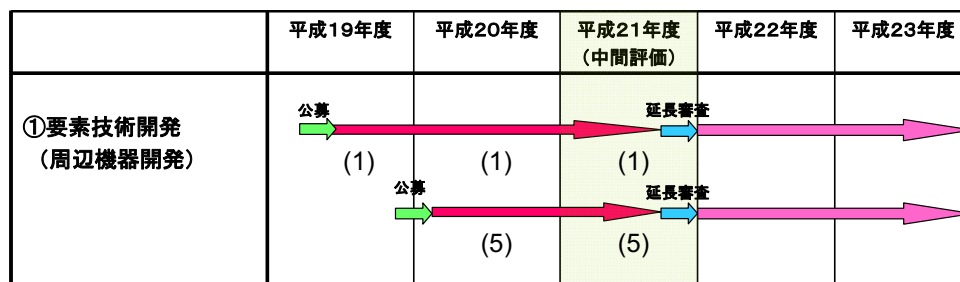


図3-44 プロジェクトの年度計画(要素技術開発:周辺機器開発)

表3-15 研究予算一覧表(要素技術開発:周辺機器開発)

委託先	研究予算(百万円)			
	H19fy	H20fy	H21fy	総額
三菱電機(株)	---	166.5	167.9	334.4
(公)大阪府立大学/ダイキン工業(株)	---	60.1	41.7	101.8
(学)東京理科大学/(国)北海道大学	---	36.6	44.0	80.6
(国)名古屋工業大学/(学)東海大学	---	32.6	12.5	45.1
(国)徳島大学	---	17.7	19.8	37.5
FDK(株)	39.8	53.4	61.9	155.1
	39.8	366.9	347.8	754.5

### 4. 研究開発目標と達成度

表3-16 脱レアアース型モータの研究開発ロードマップ  
(レアアースを使わず、既存モータ(PM)と同等程度の出力密度、効率を目指す)

	現状	参考:改良型モータ (2010年)	先進型モータ (2015年)	革新型モータ (2020年)
総合効率	1.0	1.0	1.0	1.1
出力密度	1.0	1.2	1.0	1.2
レアアース使用量	1.0	1.0	0	0
開発体制	民主導	民主導	産学官連携	大学・研究機関

表3-17 省レアアース型モータの研究開発ロードマップ  
(永久磁石同期モータ等の省レアアース化を実現しながら、格段のコンパクト化、高効率化を目指す)

	現状	参考:改良型モータ (2010年)	先進型モータ (2015年)	革新型モータ (2020年)
総合効率	1.0	1.0	1.1	1.2
出力密度	1.0	1.2	1.5	2.0
レアアース使用量	1.0	1.0	0.5	0.5
開発体制	民主導	民主導	産学官連携	大学・研究機関

(注)現状および改良型モータは、現在車両駆動用モータの主流である永久磁石式同期モータを意味する。また、表中の数字は、現状を1.0とした場合の比率を表す。

### 4. 研究開発目標と達成度

項目	中間目標	達成度	最終目標
脱レアアースモータ	<ul style="list-style-type: none"> <li>出力密度</li> <li>出力</li> <li>トルク密度</li> <li>効率</li> <li>回転数</li> <li>トルク密度</li> <li>解析による検証</li> <li>連続制御特性</li> <li>キャパシタ特性</li> </ul> 等の目標を各委託先が決定	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>総合効率:従来技術と同等程度</li> <li>出力密度:従来技術と同等程度</li> <li>レアアース使用量:零</li> </ul> 又は、 <ul style="list-style-type: none"> <li>総合効率:従来技術以上</li> <li>出力密度:従来技術の150%程度</li> <li>レアアース使用量: 従来技術より50%程度以下</li> </ul>
省レアアースモータ	<ul style="list-style-type: none"> <li>出力密度</li> <li>磁石使用量</li> <li>トルク密度</li> </ul> 等の目標を各委託先が決定	○	
制御回路	<ul style="list-style-type: none"> <li>低損失磁性材料開発 ≤ 2,000 kW/m<sup>3</sup></li> <li>低損失インダクタの開発 ≥ 160 W/cc</li> <li>SOC均等化回路開発 セル電圧精度:±0.3%</li> </ul>	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>低損失磁性材料開発 1,500 kW/m<sup>3</sup></li> <li>低損失インダクタの開発 200 W/cc</li> <li>SOC均等化回路開発 セル電圧精度:±0.3%</li> </ul>

H21年度末時点での、達成度

(○:達成済または見込み、△:達成には大幅な特性改善が必要、×:達成困難)

## 5. 研究成果(モータ)

### ■ 高性能モータ蓄電パワエレシステムの開発

三菱電機

コイル界磁型同期モータ要素技術および蓄電パワエレ部要素技術の研究開発を進め、10 kW級コイル界磁型同期モータ要素試験機の研究開発およびモータータータルシステムの研究開発を行う

- (1) 軽量コンパクトな高出力ランデル型基本構造の研究開発
- (2) 3次元鉄損現象の解明と対策および磁気/電気装荷配分の研究開発
- (3) ブラシレス・スリップリングレス給電構造の研究開発
- (4) 車載用瞬発キャパシタの研究開発
- (5) 回転子コイルから瞬発キャパシタを用いて回生し界磁電流として用いるシステムの研究開発
- (6) モータの性能(総合効率、出力密度)の確認

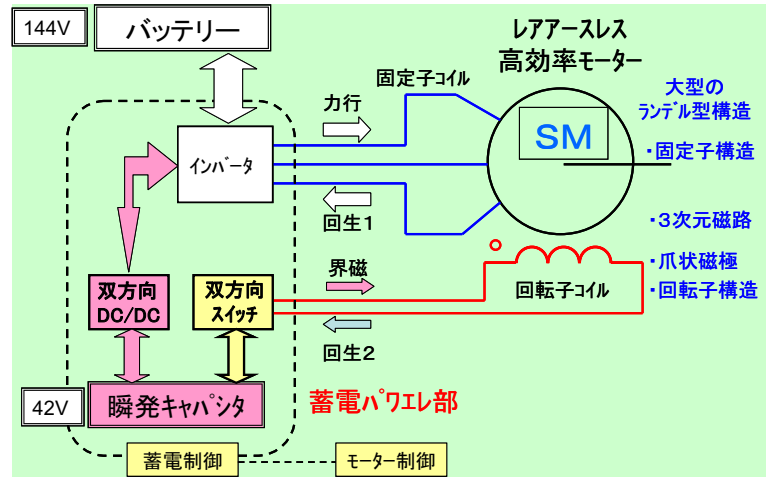


図 研究開発の全体像(電圧は参考値)

## 5. 研究成果(モータ)

三菱電機

### ■ コイル界磁型同期モータ要素技術の研究開発

ランデル型モータは、同一トルク仕様に対して固定子コイルと回転子界磁コイルの電流の割合を変えることが可能。1次試作機(図3-46)にて両者の損失変化状況を把握。磁気的機能部品の重量を合計した値22.6 kg。フレーム、ベアリング、端子等が加わり全体で33 kg以下に構成することにより中間目標であるトルク密度3 Nm/kgの見通し。

### ■ 蓄電パワエレ部要素技術の研究開発

瞬発キャパシタ小型セル(9cm<sup>2</sup>級)で2500万回のサイクル寿命を実証(図3-48)。また、双方向DC/DCコンバータについては、アクティブクランプ技術を開発し、試験した結果、電圧サージを抑えた上で、降圧動作時、出力電流18 A、電圧降圧率7.5～15%の条件下において、90.5～93.5%の効率が得られた。



図3-46 試作機概観図 固定子(左)と回転子(右)

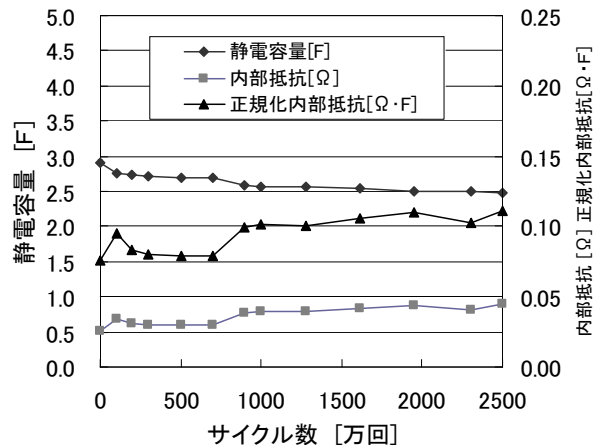


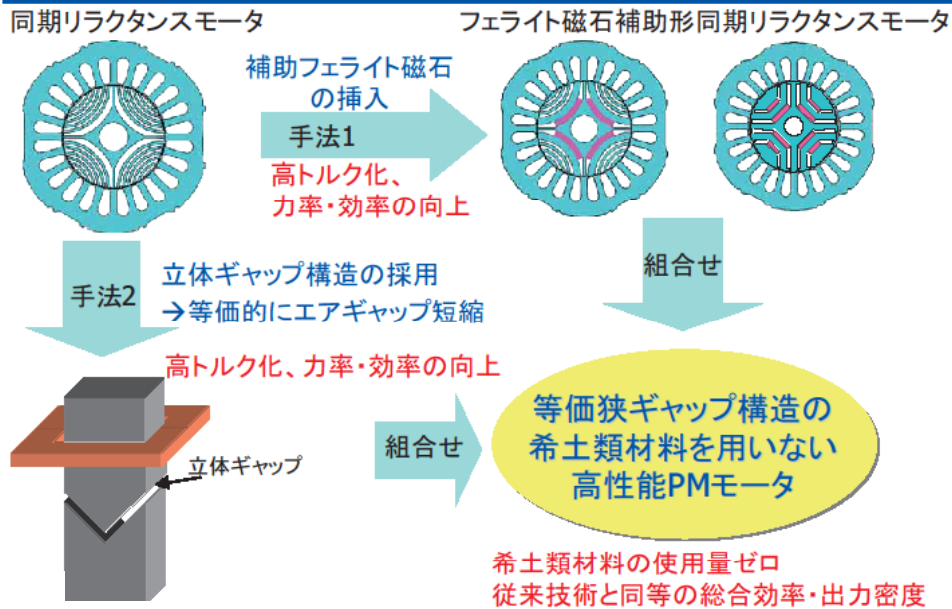
図3-48 瞬発瞬発形キャパシタの静電容量、抵抗変化

## 5. 研究成果(モータ)

大阪府立大/ダイキン工業

### ■リラクタンストルク応用モータの開発

### 研究開発モータのコンセプト



## 5. 研究成果(モータ)

大阪府立大/ダイキン工業

### ■高トルク構造の開発

高トルク化に適した極数・フラックスバリア構造・磁石埋込方法を有限要素法による磁界解析で検討。図3-49に示すように10 A(定格)および20 A(最大電流)におけるPMASynRMの発生トルクは、シンクロナスリラクタンスマータ(SynRM)と比べて20%～30%向上、6極構造のトルクが最も大きいことが明らかになり、この構造を第1次設計モデルとした(図3-50)。ギャップ長を第1次設計モデルの70%に短縮した解析モデルについて磁界解析によりトルク特性を検討。その結果、定格トルク10.0 N・m、最大トルク20.4 N・mを得た。

### ■等価狭ギャップ構造の性能把握と課題抽出

有限要素法による磁界解析の結果、立体ギャップ構造にすることで実ギャップ長の70%のギャップ長の平面ギャップ構造と同等の磁束密度が得られ、立体ギャップ構造による等価的なギャップ長短縮効果が確認できた。また、鉄損解析の結果、立体ギャップ構造によるモータ全体の損失増加は約5%と概算された。

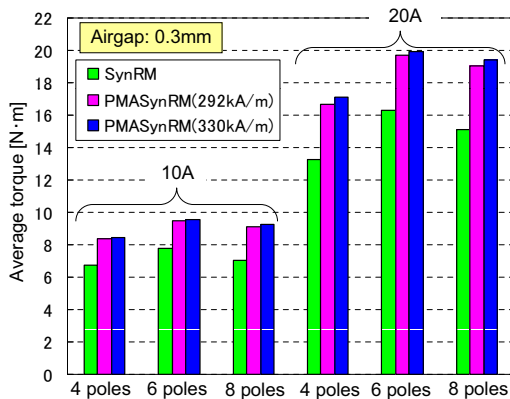


図3-49 平均トルクの比較

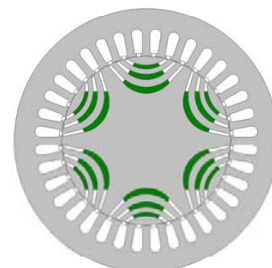


図3-50 第1次設計モデル

## 5. 研究成果(モータ)

## ■スイッチドリラクタンスモータの設計

東京理科大

Jmagソフトウェア、ワークステーションなどの導入によりコンピュータ解析を行い、軸出力50kWで効率95%程度のスイッチドリラクタンスモータ1台を設計。  
 目標とするIPMモータとほぼ等しいトルク密度も実現できること、必要になるインバータの容量は2割増加程度で済むことを明らかにした。

## ■フェライト磁石を用いた2次元モータを設計

北海道大

2次元有限要素法非線形解析を大規模に行い、図3-51に示すようなインセット型の回転子形状にフラックスバリアを追加することで、レアース使用量をゼロの磁石保持力の弱いフェライト磁石を用いても、実用に耐える十分な耐減磁特性を備えると同時に、十分な機械強度を備えている回転子形状を設計できた。

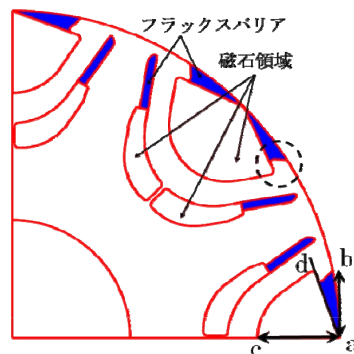


図3-51 設計した回転子断面図

13

## 5. 研究成果(モータ)

## ■ SMCコアを利用したHEMの研究開発

名古屋工大

希土類系磁石使用量を500[g]程度に抑え水冷方式下で最大出力密度6[kW/kg]、かつ現行ハイブリッド自動車搭載のモータ効率マップ水準を実現し、必要な設計・材料要素技術を明らかにする。  
 (1)極数とスロット数と巻線方式、(2)磁石形状、(3)ロータ内周SMC外径と電機子巻線ターン数をパラメータにステータ/ロータ形状と対応する界磁極形状を決定する設計手順を決め、三次元有限要素磁場解析による試行錯誤設計を実施(図3-52)。

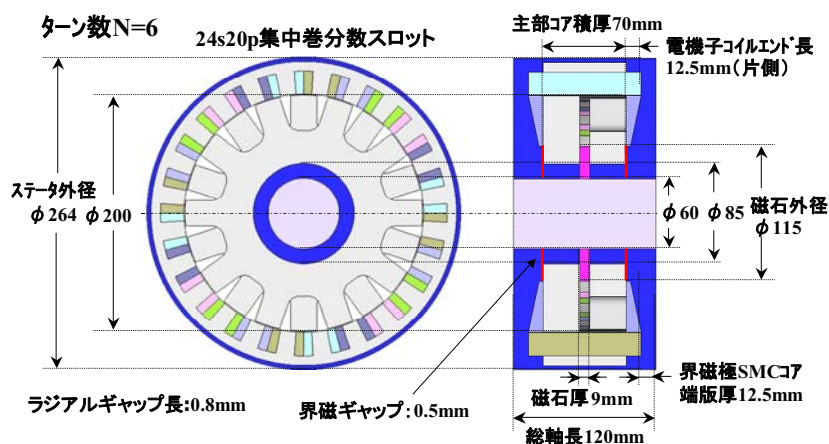


図3-52 目標出力密度を達成するHEM設計形状図面

14

### 5. 研究成果(モータ)

#### ■ SMCコアを利用した誘導モータの研究開発

東海大

誘導モータでは、自動車用を想定した空冷仕様の設計試作モータで最大出力密度1[kW/kg]超を実現し、かつ定格点での効率90%超を実現し、必要な設計・材料要素技術を明らかにする。圧粉磁心を用いた試作機と積層鋼鉄を用いた従来型誘導モータを負荷試験し測定により比較評価。ロータに圧粉磁心を採用するのは特性的には不利であることが明らかになった(図3-53)。設計検証機を設計・製作し、それに基づき圧粉磁心誘導モータの設計係数を導出。設計計算ではコア内部の磁束密度が関係するパラメータにはSMC係数1/0.8を掛ければ従来の設計計算式がそのまま使えることを明らかにした。

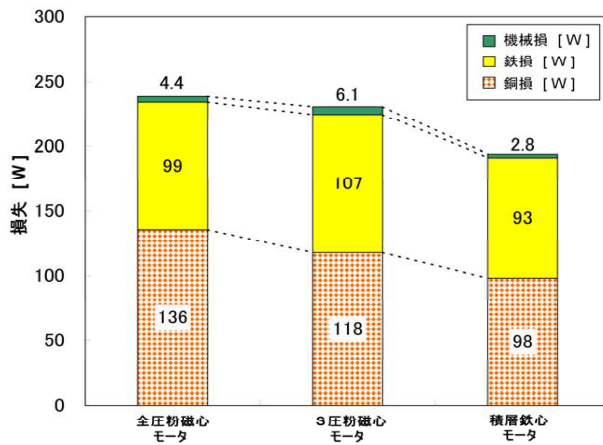


図3-53 定格出力時の損失比較(商用電源)

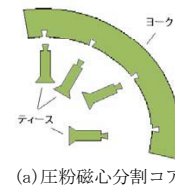


図3-54 最適設計機の設計基本方針

### 5. 研究成果(モータ)

#### ■ レアアース電動機に適用可能なセンサレス制御

徳島大

センサレス制御に適した誘導同期電動機の解析に基づく試作電動機を高速回転させ、始動から高速運転まで連続的に制御出来ることを実証すると共に、電気自動車として求められる制御目標を達成する技術開発を行う。

400W程度の試作誘導同期リラクタンス電動機のセンサレス運転特性。本研究センサレス制御により、始動時の正弦波の電圧波形から高速時の方形波電圧波形駆動まで連続的に制御でき、発生トルクの脈動も伴うことなく、始動時の位相追従特性や方形波駆動時の位相特性等安定制御を確認(図3-57)。

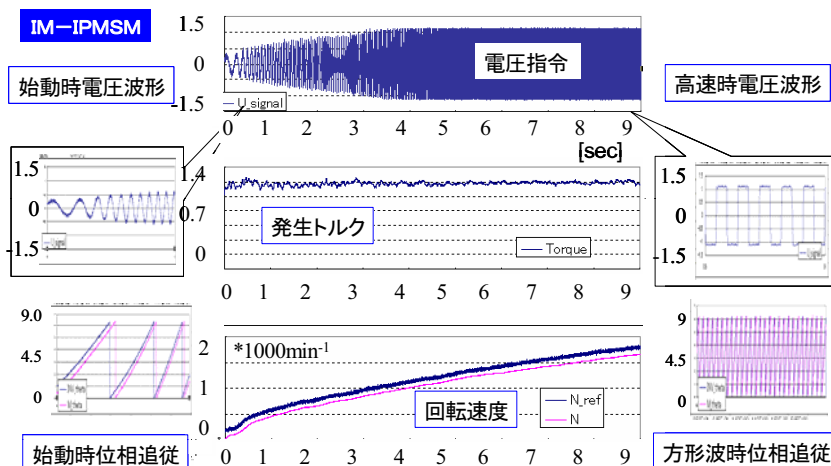


図3-57 センサレス制御システムの制御特性



## 5. 研究成果(制御回路)

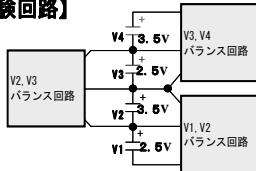
### ■コンバータ方式のSOC均等化回路の開発

FDK

制御回路部の大きさと損失で支配的なインダクタを高周波化により超小型にすると同時に、磁性素材と巻線構造にまで遡って開発することで低損失化を実現。

試験した回路と試験結果を図3-58に示す。8分で約25 mVの偏差の中にバランスを納めることができおり、回生電力変換効率は4A出力の条件で目標の92%を達成している。コンバータ方式実用化の課題であるバランス後の消費電力削減についても、新しい制御回路を開発しシミュレーションによる効果の検証を行なった。バランス補正のシミュレーション結果を図3-60に示す。

【実験回路】



【試験条件】

- 電池の代わりに大容量キャパシタ使用  
容量：2000F/3.8V
- 定電流設定値 10A
- 温度 25℃

コンバータ方式実用化の課題であるバランス後の消費電力削減について、新しい制御回路を開発しシミュレーションによる効果の検証を行なった。

【結果】

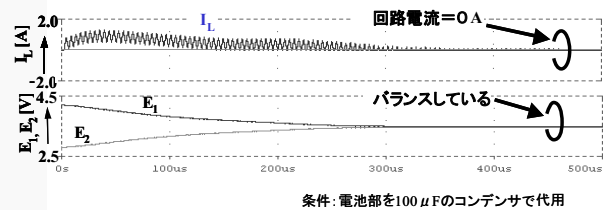
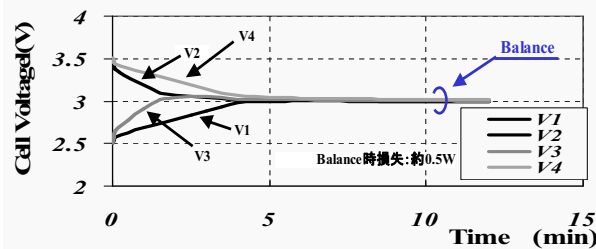


図3-58 原理試作品での評価

図3-60 シミュレーション結果

## 6. 成果の普及

表3-20 外部発表の実績(平成21年4月末時点での成果)

研究件名	実施者	特許出願	論文発表	講演発表
次世代自動車用高性能モータ蓄電パワエリシステムの研究開発	三菱電機	3	0	2
等価狭ギャップ構造による脱レアアース高性能リラクタンストルク応用モータの研究開発	大阪府立大学 ダイキン工業	1	0	1
脱レアアース次世代モータの研究開発(高速スイッチドリクタンスモータおよび3次元モータの研究開発)	東京理科大学 北海道大学	0	2	2
脱レアアースを目指す自動車用モータの研究開発	名古屋工業大学 東海大学	0	0	1
レアアースレス電動機に適用可能なセンサレス制御に関する研究開発	徳島大学	0	0	3
高効率制御回路を用いた電池電力利用技術の研究開発	FDK	4	0	1
		8	2	10

## 7. 最終目標の達成の見込み

### 【脱レアアースモータ】

●リラクタンストルク応用モータ、高速スイッチドリラクタンスマータおよび3次元モータ、SMCコアを利用した誘導モータ等について研究開発を実施している。

同期モータに関しては、コンピュータによる解析と実物製作実験では大きな開きが発生するおそれがある。そのため、モータ設計においては、中間成果の最適設計をもとにしてスケールアップに応じた最適構造について磁界解析および試作機による試験評価などを繰り返して検討を行っていることで最終目標の達成が見込まれる。

誘導モータに関しては、弱め界磁制御による効率低下が少ないことが大きな特徴であり、目標の効率が得られれば自動車の高速運転領域では従来のレアアースを大量に使ったモータよりも高い効率が得られることから、最終目標の達成が見込まれる。

●モータ蓄電パワエレシステムについても研究開発を実施しており、(1)非接触回転子給電を実現したコイル界磁型同期モータ(10 kW級)の作製、(2)モータ性能、(3)瞬発キャパシタモジュール、(4)蓄電パワエレ部のエネルギーマネジメント用アルゴリズム、等の目標達成は可能であり、極めてハードルの高い目標ではあるが、(5)総合効率の最終目標の達成は可能であると推察する。

●レアアース電動機に適用可能なセンサレス制御技術についても、研究開発を実施しており、レアアースレス電動機をセンサレス制御で高速回転させることで、最終目標である、高い電動機出力密度(0.5 kW/kg以上)と高い運転効率(90%以上)が達成できる見通しがたっている。

## 7. 最終目標の達成の見込み

### 【省レアアースモータ】

●SMCコアを利用したハイブリッド界磁モータについて、研究開発を実施している。一般に高出力密度化すれば効率の低下は避けがたいため、最終的な実スケールでの計算機仮想実験効率評価結果を基に、薄板電磁鋼板や低損失SMCコアの導入による効率改善策を視野に入れ、目標効率達成可能性を明らかにすることで最終目標達成を目指す。

### 【制御回路】

●現在の課題で主な内容として①科学的未解明な残留損失低減と②超小型化実現のための回路のLSI化がある。残留損失低減については先進のマイクロマグネティックスを用いたCAE技術の活用により、スピンの反転挙動を解明し対策に取り組む予定であり、回路のLSI化については実機検証を行う中で課題を抽出しLSI化する場合に必要な仕様要件を整理する予定である。最終目標としての電池利用効率向上については、実際の電池を用いた検証結果と電池性能調査、回路シミュレーションを駆使して達成したいと考えている。

**8. 実用化の見通し（要素技術開発③周辺機器開発）**  
 【開発した周辺機器を製品化して実車に搭載することを実用化イメージとする】

■事業化までのシナリオ

モータの事業化に対しては、上記実用化開発の課題を明らかにした後、量産設備、工法、振動・騒音対策、放熱・冷却対策等を行うことで見通しを得られる。表4-3に事業化への年度展開例を示す。

表4-3 事業化への年度計画例－要素技術開発（周辺機器開発）－

項目	～H21年度 （～FY2009）	～H23年度 （～FY2011）	～H25年度 （～FY2013）	～H27年度 （～FY2015）	～H30年度 （～FY2018）
研究段階	○	○	○		
開発段階			○		
製品化段階				○	○
市場出荷段階					○
他の企業との関係等 ライセンス・合弁等				○	○

**8. 実用化の見通し（要素技術開発③周辺機器開発）**  
 【開発した周辺機器を製品化して実車に搭載することを実用化イメージとする】

■実用化へのイメージ

本プロジェクト終了後に、開発段階へシフトし、順次、製品化段階、市場出荷段階に移行することで実用化する。また、製品化段階以降では、他の企業との関係（共同研究等）が想定される。図4-3に実用化へのイメージ図を示す。

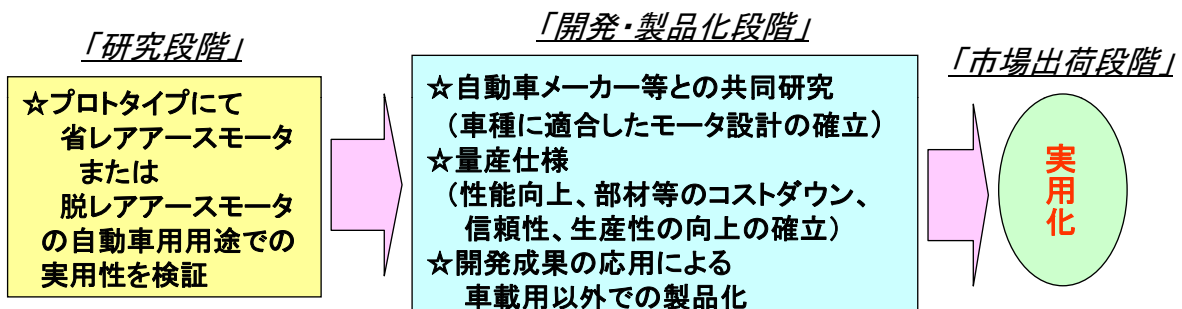


図4-4 実用化へのイメージ図－要素技術開発（周辺機器開発：モータ）－