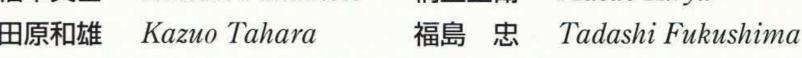
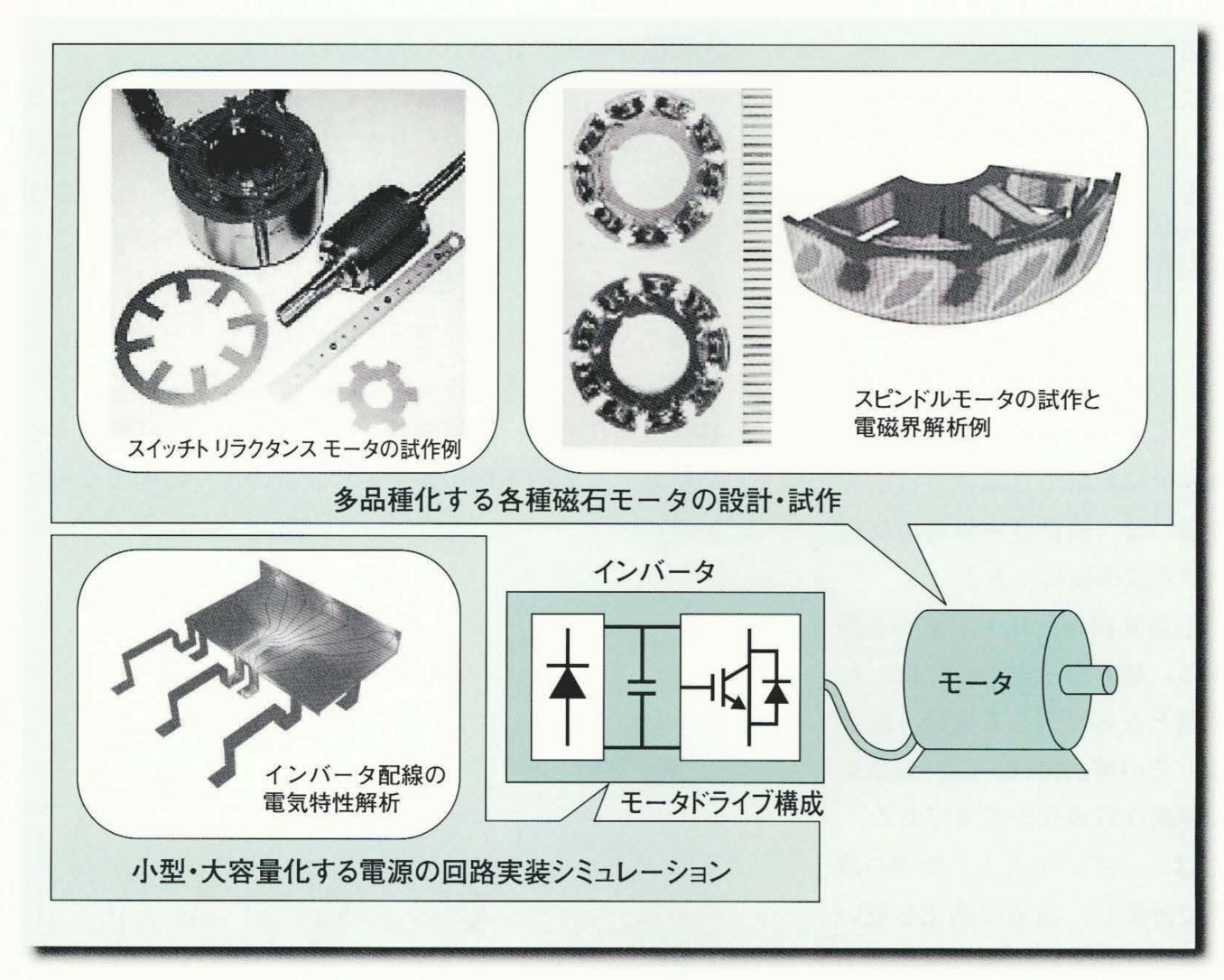
# モータの設計・試作・評価と電気回路の実装シミュレーション

Design, Trial Manufacture and Performance Evaluation of Motors, and Electrical Circuit Simulation with Power Line Structure in Consideration

> 福本英士 Hideshi Fukumoto 田原和雄

Masae Kiryû 桐生正衛





モータドライブの構成と 日立製作所が提供するサ ービスの概要

各種モータの設計・試作と, 電源回路の電気実装シミュレ ーションを提供する。

産業用・家電用モータドライブには、社会ニーズである省エネルギー化や低コスト化の波を受け、小型・高効率化を図り、 信頼性を高めることと同時に、適用製品に応じた多様な品種展開が求められている。このニーズにタイムリーにこたえるため には、高度なモータ設計技術と試作技術に加えて、インバータ実装設計技術が必要となる。

日立製作所は、磁界解析技術をはじめとするモータ設計・試作技術と回路実装シミュレーション技術を社内の多様な製品開 発の中で蓄積してきた。これらの基盤技術を駆使し、顧客との間にコラボレーションパートナーの関係を築くため、モータエ 房を立ち上げ、短期間でモータの設計、解析、試作品を提供するサービスを開始した。あわせて、回路実装を支援するシミュ レーション技術の提供も開始した。これらにより、顧客のニーズに迅速にこたえる、ソフトウェアとハードウェアの両面から の支援システムの構築を目指して研究開発に取り組んでいる。

# はじめに

産業用・家電用モータドライブは、小型・高性能化や 低コスト化などの波に押されてますます多様化している。 特にモータは、磁石など材料の発達とも相まって、製品 に合わせた専用品を設計、開発する動きが進んでいる。 この動きは、地球環境問題(省エネルギー化)の流れに乗 ってさらに加速され, 低消費電力を実現する小型・高効 率モータの開発・利用が必須となっている。また、モー

タ駆動でもインバータ化が一般的となっており、さらに、 省エネルギー化を実現するインバータによる可変速運転 への移行が加速している。

このような流れに対応するためには、専用モータやそ れを駆動するインバータの設計を短期間に行う必要があ る。一方, モータの設計技術はますます高度化し, 最適 な材料や構造を見いだすには, 磁界解析技術や新しい材 料加工技術が必須となっている。また、インバータでも 高速・大容量回路の実装設計がますます難しくなってお り、それを支援する解析技術が強く望まれている。

日立製作所は、これまで各種モータを設計、開発してきた実績から、二次元・三次元電磁界解析技術や試作技術を蓄積してきた。また、インバータの回路実装を支援する解析技術を開発し、利用してきた。

ここでは、日立製作所がこれまで培ってきたこれら解析技術・試作技術と、電気設計でのコラボレーション (協同)の提案について述べる。

# 2 モータ設計・磁界解析・試作技術

## 2.1 技術の特徴

モータには、直流モータ、誘導モータ、同期モータ、 リラクタンスモータなど、さまざまな種類がある。日立 製作所は、これら多種のモータに対応できる設計技術を 構築してきた。その核となるのは、高精度磁界解析技術 と高性能なモータを作り上げる試作技術である。

磁界解析は、特に最近、応用範囲が急拡大している磁石モータの設計に有効である。磁石モータ設計では、わずかな磁束分布の乱れが原因となって生じる振動・騒音の低減が重要な課題である。その解決には、磁石形状や磁石配置などモータ構造の詳細な最適化が必要である。

日立製作所の磁界解析では、コギングトルクなどの設計パラメータを高い信頼性で評価し、構造最適化を短い時間で実現することができる。また、埋込磁石形回転子構造など、これまでにない新しいモータ構造の解析・設計例も豊富であり、さまざまなモータ構造に対応することができる。

試作技術は、モータ設計の上流から下流までの全工程をカバーする。すなわち、利用形態に合わせた所要特性の検討、それを満足できるモータの仕様決め、上述の磁界解析をベースとするモータ設計と構造図作成、さらに、構造図に基づいた試作である。例えば、セット製品の中に組み込まれ、制限された空間内で最大性能を発揮することが求められるモータに対しては、内転形回転子、外転形回転子、軸方向ギャップ回転子など、幅広い構成の中から最適なモータ構造を選定し、これに基づいた試作を行う。

これらの解析技術と試作技術の組合せを顧客の利用に供するため、日立製作所の「知」のコラボレーションサービス"i-engineering (Intellectual Engineering)"に「モータ工房」として登録した。これを利用することにより、モータの極限設計に近づくことができ、高い機能と競争力を備えた製品開発に結び付けることができる。

## 2.2 モータ工房のサービスの特徴

#### 2.2.1 磁界解析

二次元および三次元の磁界解析例について以下に述べる。表面磁石形回転子磁石モータのコギングトルクを二次元磁界解析で評価した例を図1に示す。

磁石モータでは、磁石がとびとびに置かれていることから、回転に応じてトルクがコトコトと脈動する。これを「コギングトルク」と呼ぶ。所要トルクに対してはるかに小さいこのようなトルク特性を高精度に評価することが、振動や騒音の小さいモータ設計につながる。

爪(つめ)形磁極交流発電機の磁束密度分布を三次元解析で評価した例を図2に示す。三次元複雑形状モータの特性最適化のニーズはますます拡大しており、このような高精度三次元磁界解析がモータ設計のキー技術となっている。

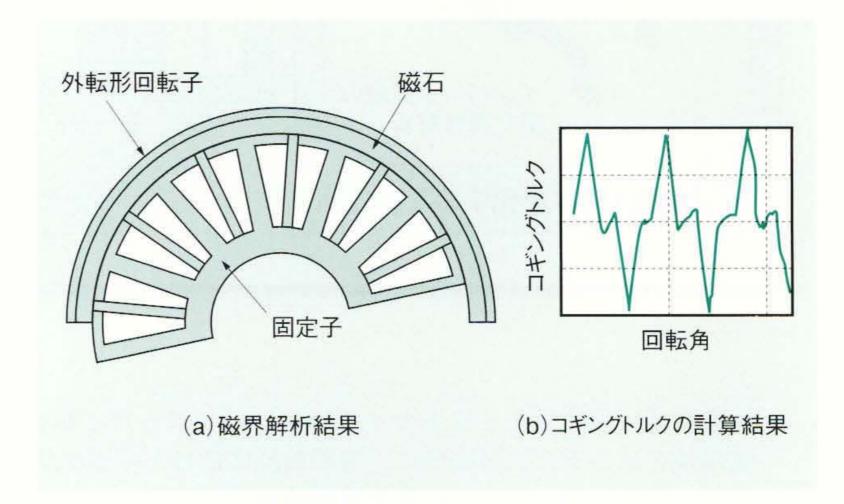
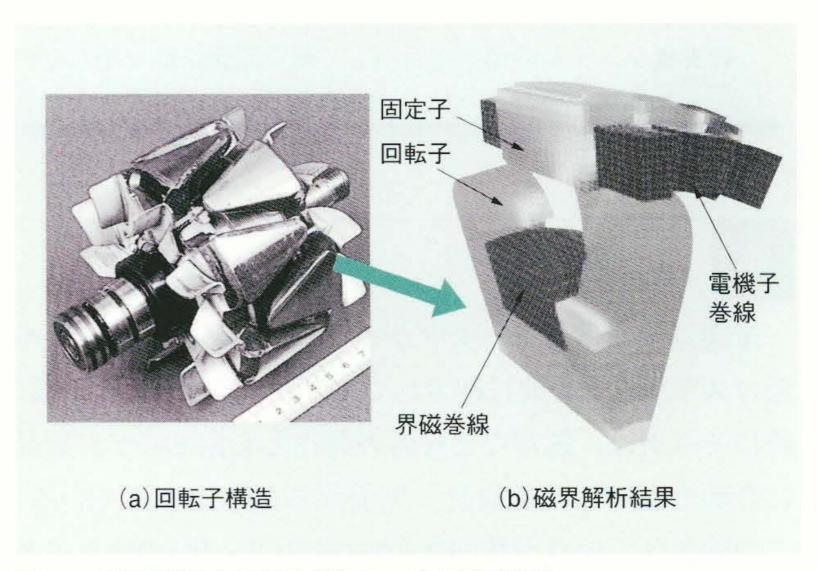


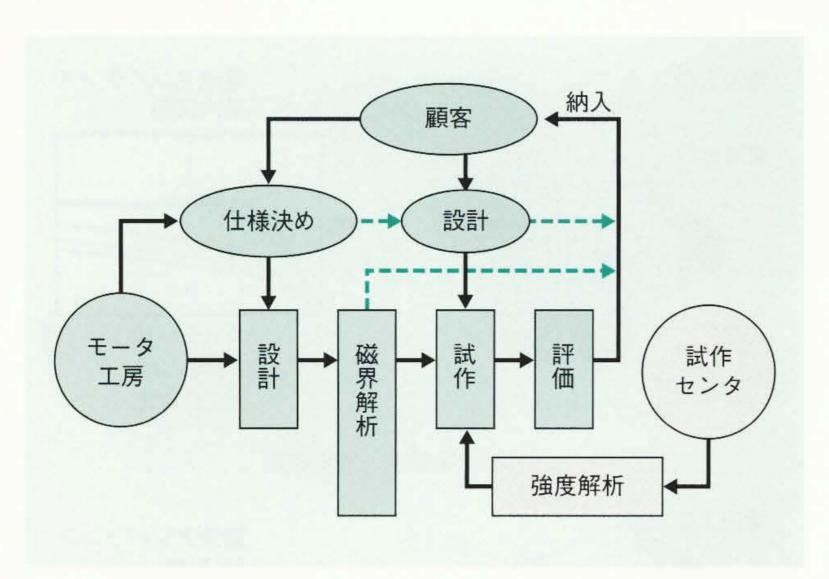
図1 表面磁石形回転子磁石モータの磁界解析例

磁界解析技術と解析ノウハウにより、設計パラメータを高精度 に評価できる。



#### 図2 爪形磁極交流発電機の三次元解析例

三次元電磁界解析は、ますます重要になる三次元複雑構造の設計に効果を発揮する。



#### 図3 モータ工房の流れ

モータの設計から試作まで、顧客のニーズにフレキシブルに対応できる。

#### 2.2.2 モータ試作

顧客へ提供できる内容項目には, (1) モータの仕様決定書, (2) 設計書, (3) 磁界解析結果, (4) 試作機, (5) 試作機の性能評価データなどがあり, いずれの段階からでも対応できる(図3参照)。

モータを製作する試作センタでは、磁気回路を構成する複雑なコア形状でも試作できるCNC(コンピュータ数値制御方式)精密ワイヤ放電加工機をはじめ、精密旋盤、CNC精密ジグ中ぐり盤、NC(数値制御)放電加工機などを備えている。これらの設備を駆使した高精度加工により、高い機能を備えた製品の試作を実現することができる。

モータ工房での設計, 磁界解析の対象は, (1) 誘導モータ, (2) ブラシレス直流モータ, (3) ブラシ付きモータ, (4) 交流整流子モータ, (5) スイッチト リラクタンス モータ, (6) シンクロナス リラクタンス モータなどである。なお, 試作対象は, (2), (5) および(6) である。試作が可能なモータ出力は10 kW以下である(図4参照)。

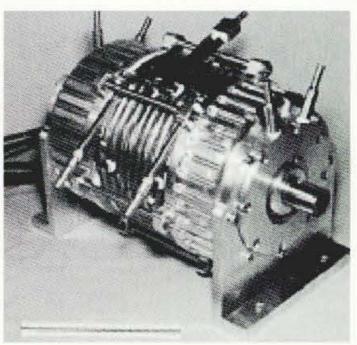
## 3 回路実装電気系シミュレーション

#### 3.1 技術の特徴

上記多種のモータを駆動するためのインバータや情報機器電源などでは、MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor)やIGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)などの半導体スイッチが多用されている。これら電源回路では、容量の大小にかかわりなく、小型化、高速化、低コスト化が急速に進展している。それに伴い、回路実装設計の難しさも増している。

回路実装設計では,回路図で期待したとおりの動作を 製品上で実現しようとする。しかし,スイッチング素子





(a) スイッチト リラクタンス モータ

(b) 水冷モータ

#### 図4 試作モータの例

精密加工技術を駆使することにより、各種のモータを試作することができる。

の破壊や共振,過大な損失など,予期しなかった現象に 遭遇して意外な手間が掛かることがある。また,電磁ノ イズが大きな問題として浮上しており,その対策が大き な負担となっている。

これらの問題は、配線や回路パターンの簡単な引き回 しの変更で解決できることもあるが、数多くのフィルタ を挿入しても効果がないこともある。

このような予期しない非定常現象の大半は、回路素子配置や配線形状を正確に考慮した回路解析により、予測、対策することができる。しかし、このような解析には特別なソフトウェアの導入が必要であり、効果も限られている。これを顧客の現状の環境で実現するために、日立製作所のサービスでは、実装構造回路モデルを提供する。これを用いることにより、電圧・電流サージ、スイッチング損失、共振など非定常現象を考慮した回路実装設計が可能となり、極限設計の実現と開発工数の短縮に効果がある。

# 3.2 回路実装電気系シミュレーションサービスの特徴3.2.1 回路モデル作成

顧客の回路実装配線図面やデータに基づいて実装構造 回路モデルを作成する(図5参照)。

提供するモデルは、部品配置や配線実装構造を正確に 反映し、さらに、顧客が通常使用している回路解析で扱 うことのできるネットリスト形式としている。このモデ ルを顧客の回路解析と組み合わせることにより、設計段 階で実装の影響をタイムリーに解析し、改善を図ること ができる。

#### 3.2.2 解析例

IGBTを利用した8並列スイッチ回路の解析例を図6に示す。並列の一部素子に電流が集中すると、容量不足や寿命の問題が発生する。そのため、2種類の異なる配線三次元形状を考え、これを有限要素法メッシュで表現し

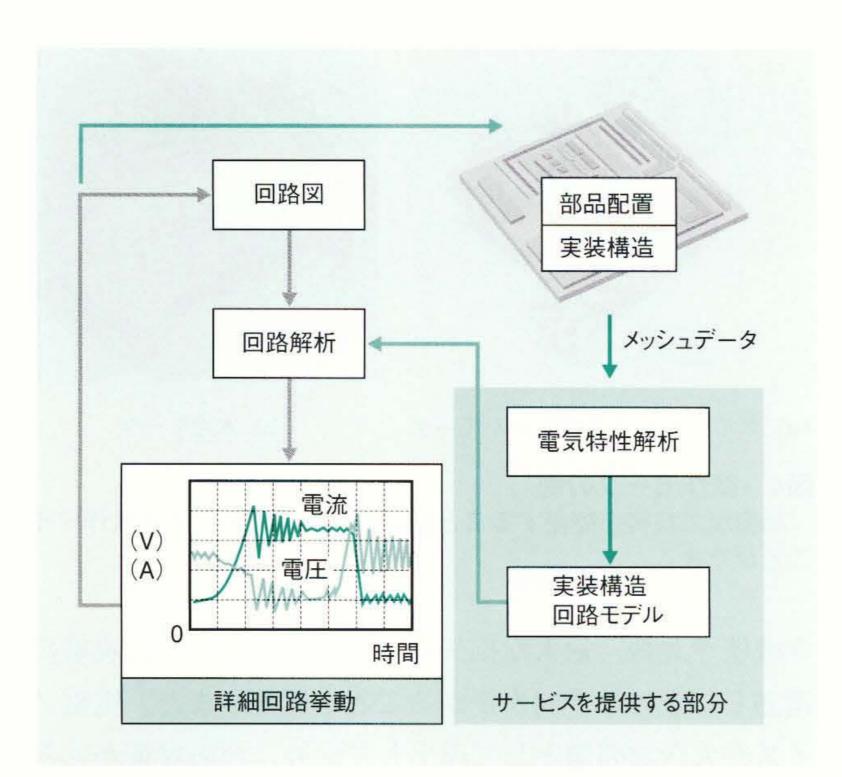


図5 顧客の回路実装設計の流れと日立製作所のサービス 内容

部品配置や実装構造の影響を設計段階で評価することができる。

た実装構造回路モデルを作成した。このモデルを用いて 回路解析を行い、波形の違いを評価した。同図(a)の第1 の例では、配線形状が非対称であることから、各並列路 の電流に最大50%の差があることがわかった。そのため、 改良案として, 銅バスからの配線距離を左右対称とする ことによってバランスを持たせた第2の構造を考えた〔同 図(b)参照]。解析の結果,並列電流のばらつきを5%以 内にできることがわかった。

このように、この解析では、回路図はまったく同じで も, 実装配線方法でまったく異なる結果を予測し, 設計 にフィードバックすることができる。

#### おわりに 4

ここでは、日立製作所のモータ工房と電気回路実装シ ミュレーション技術について述べた。

モータを使った製品の性能や信頼性の向上には,モー タそのものと駆動用インバータの性能が重要であり,今 後も製品に適合した専用モータや専用インバータ化が進 むものと予想する。

新たなモータやインバータの開発に際しては、モータ 設計, 磁界解析技術, 回路実装解析などを駆使した日立 製作所のコラボレーションサービスが有効であり、高性 能製品の開発や開発期間の短縮化を支援できるものと考 える。

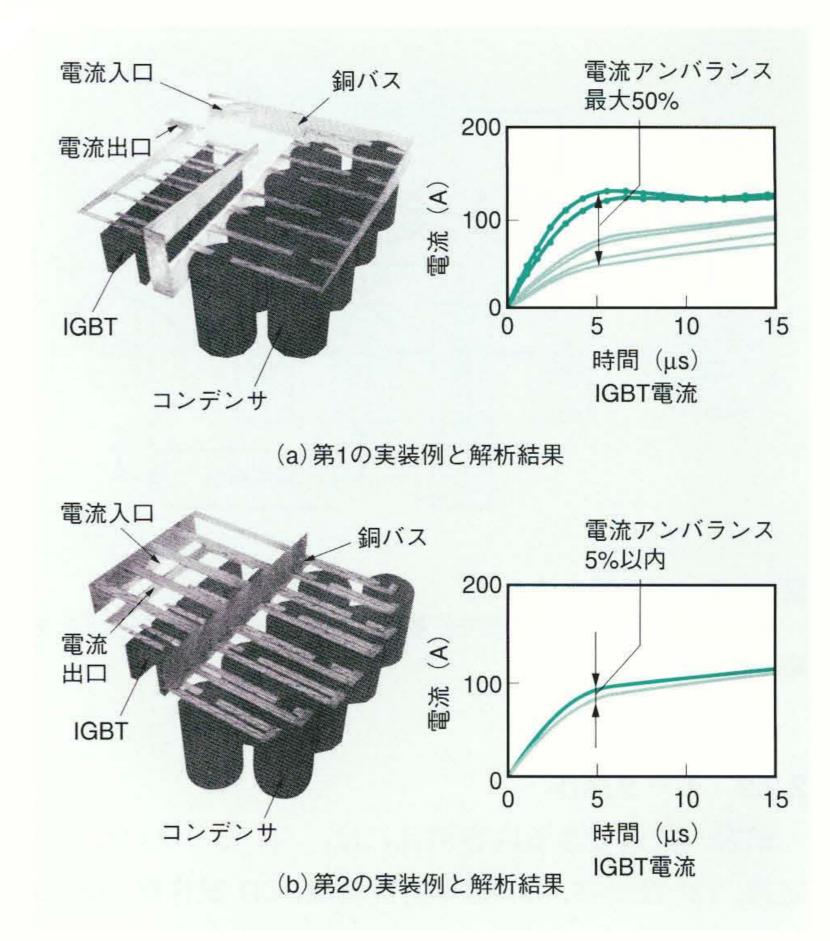


図6 電気回路実装シミュレーション例

同じ回路図構成でも,配線形状を変えるだけで変化する応答波 形を精度よく解析できる。

### 執筆者紹介



#### 福本英士

所属

1982年日立製作所入社, 日立研究所 情報制御第六研究部

現在, 回路・電磁界解析の研究に従事

電気学会会員

E-mail: hfukumo@hrl. hitachi. co. jp



#### 田原和雄

1960年日立製作所入社, 日立研究所 情報制御第五研究部

現在, 小型モータの研究開発に従事 工学博士

電気学会会員

E-mail: ktahara @ hrl. hitachi. co. jp



### 桐生正衛

1965年日立製作所入社, 日立研究所 技術情報部 所属 現在, 試作開発に従事

E-mail: mkiryuu@ hrl. hitachi. co. jp



#### 福島忠

1980年日立製作所入社, 日立研究所 情報制御第五研究部 所属

現在, 研究開発推進業務に従事 工学博士

情報処理学会会員, 電気学会会員

E-mail: chuy @ hrl. hitachi. co. jp