

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 30 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22560269

研究課題名（和文）分散型電力情報 ID チップによる多元的電気エネルギーマネジメントシステム

研究課題名（英文）Energy Management System of Electric Power System using Distributed Power Information ID Chips

研究代表者

鵜飼 裕之 (UKAI HIROYUKI)

名古屋工業大学・工学研究科・教授

研究者番号：40135405

研究成果の概要（和文）：再生可能エネルギーの導入により多様化する次世代電力システムにおけるマネジメントシステムの高度化を目的として、①分散型電力情報 ID チップの開発と機能標準化の策定、②出力変動に伴う不確実な潮流変化に自律的に対応できる電圧管理・制御システムの構築と制御効果の検証、③電力情報に基づく設備形成のリスク-クオリティマネジメントについて研究を実施した。

研究成果の概要（英文）：The purpose of the research is to develop the energy management system for next generation power system with various renewable energy resources. The results of the research are ①the development of distributed power information ID chips and the standardization of the functions. ②the development of advanced voltage monitoring and control system of power system against uncertain power flow change and the confirmation of the proposed control method by using real-time simulation, ③the risk-quality management for investment and construction of power apparatus.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2011 年度	800,000	240,000	1,040,000
2012 年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学／電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：電気エネルギーシステム，エネルギーマネジメント，自律分散型システム，電力品質，モニタリングシステム，リスクアセスメント

1. 研究開始当初の背景

エネルギー問題と環境負荷低減問題の同時的解決による持続可能な成長基盤の確立に向けて、社会システムのパラダイムシフトは急務であり、テクノイノベーションによる根本的な解決策が求められている。その中でも、産業・生活を支える最重要社会インフラである電気エネルギーシステムは大きな変革の時期に直面しており、太陽光・風力発電など多種多様な自然エネルギーの積極的な導入とプラグイン・ハイブリッド・電気自動車へのシフトと、それらをネットワークで繋ぐ新しい電力システムの実現は喫緊の課題である。すなわち、自然エネルギーシステムが分散的に導入されることで、電気エネルギー需給システムは、集中から分散へ、一極から多極へ、単方向から双方向へと質的にも構造的にも大きく変化することが予想される。こうした質的・量的変化は、具体的には、自然エネルギーの出力変動、電力取引による需要変動などによる系統条件における不確定要因の増加に繋がり、その結果、電力動揺の増大、潮流の偏在化や逆潮流、電圧逸脱の増加、周波数変動などの技術的な問題が新たに派生することが懸念される。また、都市部でのオフィス電力需要の拡大と集中により、エンドユーザの電力品質の高品質化の要求が増し、従来の高信頼度供給に加えて電力品質向上への対応が必要となっている。

こうした電力システムを取り巻く状況の変化に対応するためには、①供給側と需要家側の電力品質に関する情報を共有するための電力情報システムの整備、②現有の電力設備を有効に活用しながら、新設備の導入効果を最適化する協調的運用・制御システム、③電力情報に基づく設備形成のリスクと電力品質のアセスメントに基づいて需要家にインセンティブを付与する制度設計が必要である。①の電力情報システムに関して、申請者は、科学研究費補助金基盤研究(A)(1)「自律分散型電気エネルギー流通監視システム」(代表者:三谷康範)(H18~H21)の研究分担者として、GPSによる同期計測機能を有する小型分散型電力モニタリングシステムについて研究展開し、基本システムの試作と機能の標準化に関して成果を納め、その活用方法として電力システムのモデリング技術について検討してきた。また、②の運用・制御システムについては、とくに、電力品質の中で、分散電源の増大によって最も重要な影響を受ける電圧管理問題に対して、現有の変圧器タップ制御などの制御装置に通信機能を付加してリアルタイム情報を活用した協調的制御手法を提案した。③の制度設計については、過剰に投入されたことで電力品質の低下を誘引している需要家電力用コンデンサを最

適に運用、制御することで電力品質を向上させるための手法について成果を収め、それに基づいた新しい制度設計モデルを構築した。

2. 研究の目的

本研究では、新たなエネルギー需給のパラダイムシフトに対応できる電気エネルギーマネジメントシステムを構築する。具体的には、下記の内容について明らかにする。

(1) 分散型電力情報IDチップの開発と機能

標準化: 電力系統多地点(発電所、変電所など)とそれに繋がる多数の需要家電力設備に設置するため、小型分散型電力情報IDチップを開発し、その機能の標準化について策定し、その応用技術を展開する。キーテクノロジーは、用途指向型のソフトウェア組込み技術の開発と、そのためのハードウェア環境の規格標準化である。すなわち、様々な用途にフレキシブルに対応できるソフトウェアを構築でき、さらに様々なハードウェア仕様の策定が可能な基本的なプラットフォームを構築して機能標準を策定する。また、波形レベルでのリアルタイム監視・診断をめざして、ハードウェアとソフトウェアの両面から最新の高速信号処理技術を応用して高付加価値の電気エネルギーマネジメントツールを開発する。

(2) 不確実な潮流変化に対応した自律分散型電力マネジメントシステムの構築:

電力情報IDチップの適用事例として、将来大きく変動し劣化することが予想される電圧品質の維持管理を目的とした電圧監視制御システムについて検討する。具体的には、送電・配電系統の変電所、受電端に電力情報IDチップを有する機器を設置し、自律分散的な機能を有し、電圧品質の適性維持、高調波の抑制効果など付加価値の高い電圧監視制御システムを構築する。

(3) 電力情報を用いた電力設備のリスククオリティマネジメントと、それに基づいた

制度設計: 送電設備である変圧器、送電線、需要家変電設備など、電力流通における主要な機器群に対して、電力情報IDチップにより収集するリアルタイムデータに基づくクオリティ評価を行い、停電リスク、電圧変動リスクという観点からアセスメントを行う。具体的には、需要家設置の電力用コンデンサを系統側制御装置と協調的に用いることで電圧品質が向上することを明らかにし、その結果に基づいて、需要家に制御装置設置のインセンティブを付加する電力システム運用体系の制度設計を行う。図1に提案する自律分散型電気エネルギーマネジメントシステムの概念図を示す。

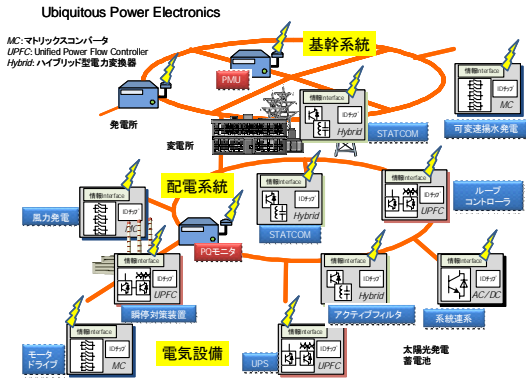


図1 電気エネルギーマネジメントシステム

3. 研究の方法

(1) **分散型電力情報 ID チップの開発と機能標準化**：ハードウェアについては、現有のプロトタイプに基づいて試験装置を改良し、ソフトウェアについては、用途に応じた組み込みソフトウェアを開発して試験装置に実装の上、機能評価を行い、小型分散型電力情報 ID チップのプラットフォーム化と機能標準化について検討する。

(2) **不確実な潮流変化に対応した自律分散型電力監視制御システムの構築**：自律分散型電圧監視制御システムとは、系統全体を複数のグリッドから成るサブシステムに分割し、分割された領域ごとに情報を集約、各電圧・無効電力制御機器の制御感度を算出することによって、領域間の協調をはかるシステムである。構築にあたっては「分散システム群の分散電源、負荷の変動による電力状態のリアルタイム同定」と、「分散システム間の協調的制御方策」の構築が必要となる。本研究では、広域系統電力システムと地域送配電システムに分散型電力情報 ID チップを設置して、電力監視制御のための方策について検討する。とくに、広域電力システムにおいては GPS 機能を有した装置 (PMU) を活用した安定化制御システムの構築、地域送配電システムにおいては、今後大量に導入が予想される太陽光発電の不確実な出力変動に対応できる電圧監視制御システムを構築する。

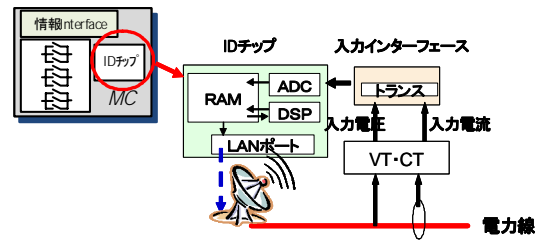
(3) **電力情報を用いた電力設備のリスククオリティマネジメントと、それに基づいた制度設計**：社会基盤設備としての電力システムの変革のためには、既に投入された現有設備を有効に活用しながら、新しい機能を持つ設備の投資効果を明らかにすることが重要である。とくに、喫緊の課題として、送配電システムに大量に導入が予想される太陽光発電による潮流変動・電圧変動に対応するための設備形成については、現有設備のリスクアセスメントとそれに基づく設備形成および電力システム制度設計を構築する必要がある。そのため、申請者が委員長を務めた電気協同研究ならびに電気設備学会での調査研究の

成果を活用して電力設備のリスククオリティアセスメントを実施して実行可能な方策について検討し、次世代の電力システムの制度設計について提言する。

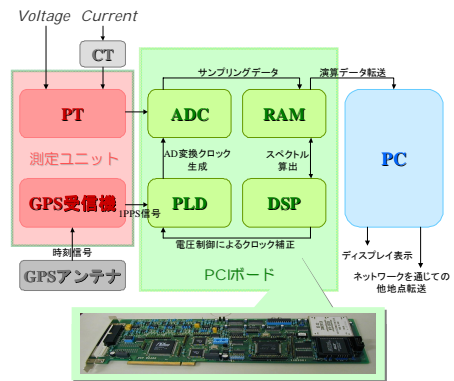
4. 研究成果

研究目的ならびに研究計画に従い研究を実施し、下記の項目について成果を得た。

(1) **分散型電力情報 ID チップの開発と機能標準化**：これまでの研究資産を生かして、標準化に向けた電力情報 ID チップの改良を行った。ハードウェア開発については、既に開発したプロトタイプシステムの改善を図ることで試作機の諸機能をモジュール化し、モジュール毎に機能標準を策定した。図2にハードウェア構成を示す。



(a) 全体構成



(b) 試作装置

図2 分散型電力情報 ID チップ

また、ソフトウェア開発については、配電系、需要家内での設置を想定した場合の機能について評価し、配電系統および需要家の電力設備の電力品質の変化を瞬時に正確に捉えるために周波数や高調波などの各種電力状態量をリアルタイムかつ高精度に計測することが可能な演算アルゴリズムについて改善を図り、再帰的DF Tアルゴリズムのリアルタイム性を維持しながら設計周波数と入力周波数との周波数偏差に起因する演算誤差を低減する手法を提案した。さらに、変電所制御システムと分散電力情報 ID ならびに各種制御装置その間の通信システムを評価するため、国際標準である IEC61850 に準拠した模擬的制御通信システムを構築してデータ転送システム GOOSE を実装し、通信負荷によるデータ欠損などの制御リスクについての定量的な評価を行った。

(2) 不確実な潮流変化に対応した自律分散型電力監視制御システムの構築：

①広域電力系統における自律分散型制御システムの構築：広域電力系統において故障や事故による電力動揺を抑制し、安定に電力を送電するための制御装置に、分散型電力情報IDチップを適用した。広域電力系統において問題となるローカル動揺モードと広域電力動揺モードの同時安定化、出力変動・負荷変動などに起因する電力潮流の急激な変化に対応するために、広域同期計測システムにより収集した位相角差リアルタイム情報を活用した階層方式オンライン適応型PSSを提案した。制御系は、地域系統におけるローカル動揺モードを抑制するためのローカルフィードバックと地域間の広域動揺を抑制するためのグローバルフィードバックを有する階層的なフィードバック制御構造を有している。制御手順は以下の通りである。

- (i) 系統各地点に設置した分散型電力情報IDチップ(PMU)によりリアルタイムで広域位相各情報をGlobal Control Centerに集約。
 - (ii) 系統変化により発生する位相角差の変化から動揺モデルを同定し、系統安定度に影響する支配的電力動揺モードを抽出。
 - (iii) 動揺モードを反映した縮約系統モデルを構築し、制御系を設計。
- 制御系の構成図を図3に示す。

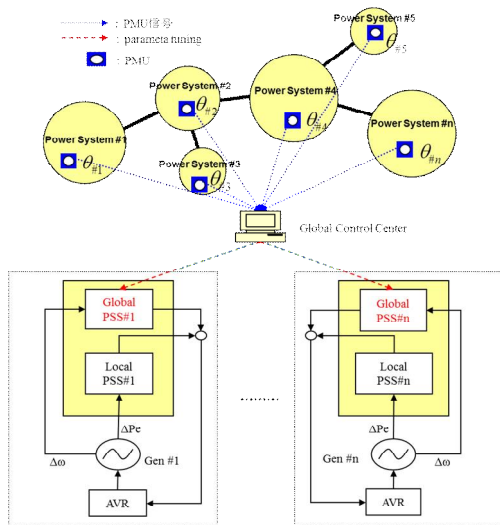


図3 階層方式適応型系統安定化装置

また、制御系を電気学会標準モデルであるWEST10機系統モデルに適用し、1回線三相地絡故障を想定したシミュレーションにおける発電機出力過渡応答の結果を図4に示す。

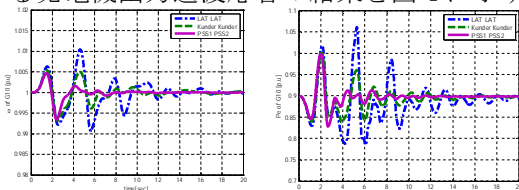


図4 制御用発電機の角速度、有効電力

②地域送配電系統における分散型電圧管理制御システムの構築：

近い将来、大量に導入が予想される住宅用太陽光発電システムによる配電系統電圧リスクに関して、電圧上昇、電圧不平衡、高調波など様々な電源品質を同時に保証する観点から、現有の設備である変電所変圧器タップ切替制御(LDC)、SVR、需要家SCなどを有効に活用する協調的制御手法について検討し、配電系統の複数ノードに電力情報IDチップで設置して取得したデータを有効に活用した協調的な最適化手法を提案し、実規模系統を模擬したシミュレータによりその有効性を検証した。また、配電系統の電圧制御のための追加投資を抑制することを目的として、増加する電気自動車(EV)やプラグインハイブリッド車(PHV)に搭載される小容量蓄電池が需要家に繋がることを想定し、それらの一部の空き容量を利用して電圧変動に対して自律的に充放電させ、既設のSVRを協調的に動作させることで電圧変動を抑制する手法を提案した。需要家の一部に設置された小容量蓄電池による自律分散型電圧制御システム概念図を図5に示す。

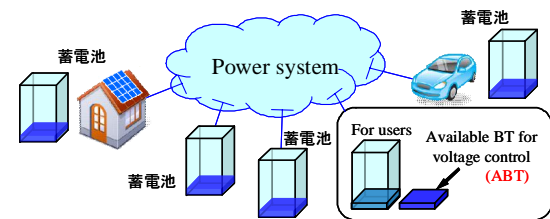


図5 蓄電池を用いた電圧制御システム

(3) 電力情報を用いた電力設備のリスククオリティマネジメントと、それに基づいた制度設計：

配電系統の等価モデルを用いて、電力情報IDチップと需要家における電力用コンデンサ設備を用いた電圧制御への応用効果について定量的に解析し、需要家設備での投資効果について検討した。その結果、電力用コンデンサ設備に自動力率制御装置(APFC)を設置しスケジュール制御など簡単な制御法で十分な制御効果が発揮できることを明らかにした。さらに、APFC装置の制御効果に付加的な価値を与えることを目的として、電圧制御のみならず、高調波抑制、不平衡電圧抑制などの制御効果について検討し、配電系統のLDC、SVRなどとの協調的制御アルゴリズムを提案した。そして、リアルタイムシミュレータ上で模擬的に配電系統モデルを構築、提案手法の有効性について検証を行った。構築したリアルタイムシミュレータを図6に示す。

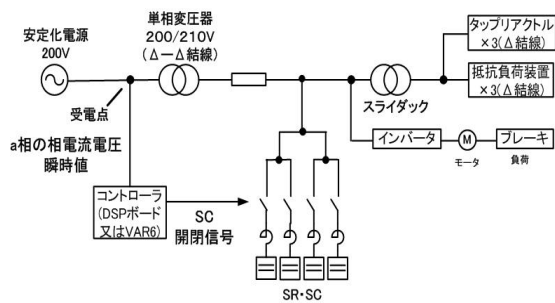


図6 配電システムリアルタイムシミュレータ

また、電力規制緩和の進展により予想される連系線電力潮流の増加に伴う電力流通リスク（周波数、系統安定度、電圧など）について基礎的な検討を行う目的で、各地域間の位相角差を活用した地域分散型周波数制御法を提案した。その結果、周波数調整用発電機の周波数制御パラメータの設定に需給調整のための連系線潮流量が依存して変動することが明らかになった。このことは将来の地域毎の電力設備計画に影響を与えることになる有益な結果である。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計4件）

- (1) 関崎真也, 青木睦, 鵜飼裕之：太陽光発電大量導入時における小容量蓄電池群を用いた配電システム電圧制御法, 電気学会論文誌B, Vol.133, No.5 (2013 掲載予定)
- (2) 関崎真也, 青木睦, 鵜飼裕之：太陽光発電が大量連系された配電システムにおける電圧センサを活用した多段 SVR の制御, 電気学会論文誌 B, Vol.133, No.1, pp.45-55(2013)
- (3) 関崎真也, 青木睦, 鵜飼裕之, 坂口琢磨, 重藤貴也：太陽光発電大量導入時の配電システムにおける日射量情報を用いた電圧制御, 電気設備学会誌, Vol.32, No.3, pp.226-235(2012)
- (4) 上嶋宏明, 成瀬太一, 青木睦, 鵜飼裕之,

小林浩：配電線損失に着目した進相コンデンサによる配電システムの電力品質改善手法, 電気学会論文誌 B, Vol.132, No.3(2012)

〔学会発表〕（計34件）

- (1) Shinya Sekizaki, Mutsumi Aoki, Hiroyuki Ukai, Shunsuke Sasaki, Takaya Shigetou, Wei hua Wang, Jean BÉLANGER: Effective Voltage Control by SVR to Reduce the Capacity of SVC using Solar Radiation Information with Real Time Simulator, Proc. ICEE(2012)
- (2) Katsuma Watanabe, Mutsumi Aoki, Hiroyuki Ukai, Shinya Sekizaki, Shunsuke Sasaki, Takaya Shigetou: Determination Method of Optimal Sending Voltage for Voltage Regulation by LRT Control in Distribution System with a Large amount of PVs, ICEE (2012)
- (3) Hiroaki Uejima, Taiichi Naruse, Mutsumi Aoki, Hiroyuki Ukai, Hirosi Kobayashi: Cooperative Control of SCs Improving Power Quality in Distribution System, ICEE (2011)

〔図書〕（計0件）

〔産業財産権〕（計0件）

〔その他〕

とくになし。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鵜飼 裕之(UKAI HIROYUKI)

名古屋工業大学・工学研究科・教授

研究者番号：40135405

(2) 研究分担者

青木 睦 (AOKI MUTSUMI)

名古屋工業大学・工学研究科・准教授

研究者番号：70362316