

## 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31日現在

機関番号：33903

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560285

研究課題名（和文） 低炭素社会における交流—直流ハイブリット給電方式に関する研究

研究課題名（英文） Study of alternating current / direct current hybrid Power supply system in the low carbon society

研究代表者

雪田 和人 (YUKITA KAZUTO)

愛知工業大学・工学部・教授

研究者番号：60298461

研究成果の概要（和文）：地球環境保全を目指し、新エネルギーの電力系統への導入量増加が検討されている。しかし、太陽光発電装置や風力発電装置は、出力変動が大きく安定した電力供給困難などが課題としてある。本研究では、上記問題を解決するために、現在の交流技術のみならず直流技術を導入し、系統に導入した新エネルギーの高効率運用および系統故障に頑強な安定運用ができる給電システムの開発を行った。

研究成果の概要（英文）：This study investigated various ways of designing and operating distributed generators (DGs), and microgrids, which consist of several DGs in order to find more effective ways to utilize renewable energy. Then, the level of electric power from renewable energy sources tend to fluctuate with meteorological changes. To solve these problems, we paid attention to the constitution of Parallel Processing UPS (P.P. UPS). We then developed a new power supply system that uses the following P.P. UPS components: an AC-switch, a PWM-converter (bi-directional inverter), and a valve-regulated lead-acid (VRLA) storage batteries. Our system can be used to not only maintain a balance of supply and demand, but to also continue to supply AC/DC power during disturbance to the utility grid.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学・電力システム工学

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：電力系統工学，直流給電，マイクログリッド，スマートグリッド，電気自動車

## 1. 研究開始当初の背景

わが国においては、エネルギー分野における安全保障の強化・資源の安定供給の確保と低炭素社会の実現（Cool Earth50，ゼロ・

エミッション，京都議定書の目標達成，二酸化炭素の削減量25%など）が国家的なエネルギー問題となっている。そこでこれら問題を解決するために、太陽光発電をはじめとする

新エネルギーの普及・啓発および導入量の拡大が重要視されている。これまでに、国内の太陽光発電に関しては、NEDOの実証試験として、群馬県太田市の集中導入実証試験、北海道稚内市および山梨県北杜市におけるメガソーラー試験が実施されている。また系統連系におけるの代表的な試験として、愛知万博・中部臨空での50kW程度の実証試験、八戸市における水の流れを電気で返す実証試験、京都府丹後市におけるバーチャルグリッドなどが実施されてきた。しかし、これらの実証研究においては、分散型電源の挙動および動特性などの検討であり、問題解決の提案手法までには至っていないように思われる。

本研究は、新エネルギー（太陽光発電、燃料電池発電、風力発電など）の高効率運用を目指した電力システム（電力の生産、輸送、分配）に関して、これまでの交流技術だけでなく直流技術の導入を図り、分散型電源の出力変動を抑制する制御手法および変換器導入による電力品質、損失低減、瞬時電圧低下現象対策などに関する問題を解決する新しい運用・制御手法の開発を行った。

さらに本研究では、これまで開発してきたパラレルプロセッシング方式を用いた給電手法を基本として、上記で述べた新エネルギー導入時における問題を解決するとともに、直流と交流のハイブリット技術を用いて、分散型電源が導入された電力システムにおいて高効率運用可能な系統故障に頑強である電力システムの開発を実施した。

## 2. 研究の目的

地球環境保全を目指し、新エネルギーの電力システムへの導入量増加が検討されている。しかし、新エネルギーの主役である太陽光発電装置や風力発電装置は、「出力変動が大きく安定した電力供給困難」、「電力品質問題」、「雷などに起因する瞬時電圧低下」などが課題としてある。本研究では、上記問題を解決するために、現在の交流技術のみならず直流技術を導入し、上記問題の解決とともに系統に導入した新エネルギー（太陽光発電、燃料電池発電、小型風力発電など）の高効率運用および系統故障に頑強な安定運用ができる電力システムの開発を行った。これにより現在よりも、系統故障に頑強なシステムになり、新エネルギーの導入可能量の増加が期待できる。本研究での提案する電力変換フローを

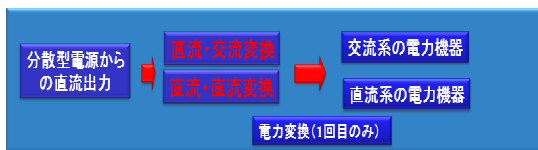


図1. 提案する電力変換フロー



図2. 従来の電力変換フロー

図1に示す。また、比較のために従来の電力変換フローを図2に示す。

## 3. 研究の方法

本研究は、3年間の計画であり大きく研究前期および研究後期としている。まず検討内容は、これまで開発してきたパラレルプロセッシングを用いた給電手法の改良であり、交流給電と直流給電のハイブリット技術を用いて系統に導入した発電装置（太陽光発電、小型風力発電など）の高効率運用および系統故障に頑強である電力システムの開発を行った。特に本研究で提案している直流技術導入のために給電における問題点を精査した。実施内容は、図3に示すように基礎的な検討を計算機シミュレーションにて、研究前期に実施し、その後、実験と大学一部校舎を用いて実証実験を行った。研究前期では、給電装置の制御性能の向上（充電・放電電圧値ならびに電流値）、雷などに起因した系統電圧低下時の対策など、主にシミュレーションにて実施する。研究後期には、シミュレーションでの検討を確認し、実用化を目指し小規模実験と実規模実験を行った。

具体的な実験システムを図4に示す。同図



図3. 実施項目

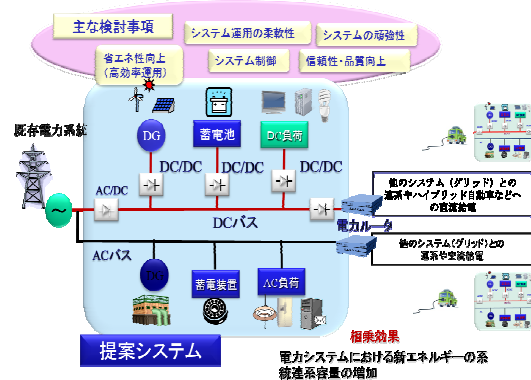


図4. 実験システムの概念図

に示すように、交流給電母線と直流給電母線に大別し、交流給電機器と直流給電機器の構成となっている。

#### 4. 研究成果

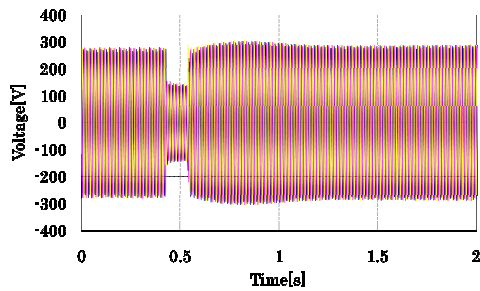
本研究における研究成果を以下に示す。

(1) パラレルプロセッシングを用いた系統連系手法における制御手法のシミュレーション解析と実験的検討

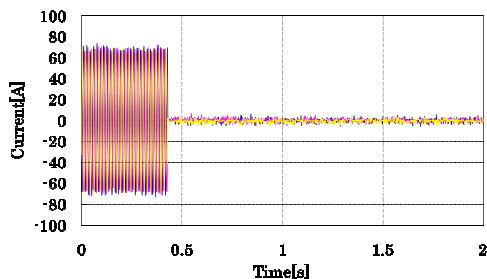
① パラレルプロセッシング方式の動作特徴である電力供給の無瞬断制御手法について、電流制御、電圧制御のハイブリット方式のシミュレーションモデルを構築し、この方式における改良点について検討した。特に、本研究における運転は、連系する系統の電圧と周波数に同期する同期運転、双方向変換器で基準電圧、基準周波数を発信する非同期運転がある。この二種類の運転方法について、比較検討し、有効性および制御課題について調査した。

② 蓄電池の充放電特性データを検討し、蓄電池の充放電回数と寿命に関して検討した。今回の研究で想定した電池は、鉛蓄電池であるが、システムの運用方法によって電池寿命が左右されるものと思われる。そこで、蓄電池をなるべく長く使用するための運用手法について検討した。

③ 瞬時電圧低下現象によるシステムの挙動について、交流給電と直流給電について比較検討した。特に、実験的検討において、本学講義棟である12号館を用いて、瞬時電圧低下を発生させ、このとき太陽光発電装置が導



(a) 双方向変換器への入力電圧特性



(b) 双方向変換器への入力電流特性

図5. 双方向変換器への電圧・電流特性  
(瞬時電圧発生時)

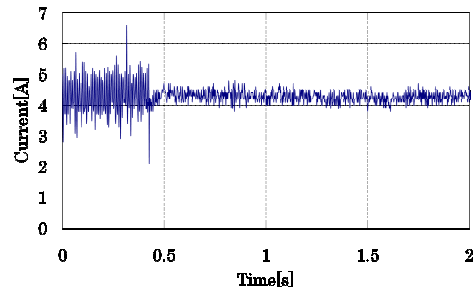


図6. 直流給電システムにおける太陽光発電装置からの出力電流特性

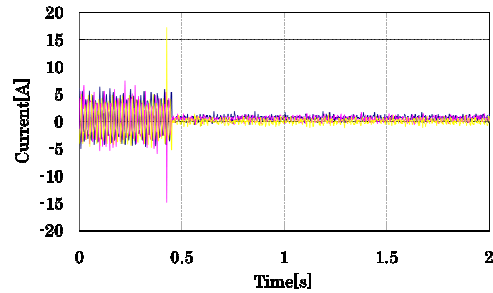


図7. 交流給電システムにおける太陽光発電装置からの出力電流特性

入されている交流給電システムと直流給電システムとの比較検討をした。図5に瞬時電圧低下時の双方向変換器への入力電圧特性と入力電流特性を示す。図6に直流給電システムにおける太陽光発電装置の変換器からの出力電流特性を示す。図7に交流給電システムにおける太陽光発電装置の変換器からの出力電流特性を示す。図6と図7を比較すると、連系する系統電圧が瞬時低下した場合、交流給電システムに導入されている太陽光発電装置からの出力は停止しているが、直流給電システムは、出力を維持できている。これらから、直流給電システムは、交流給電システムよりも信頼性が向上していることがわかる。

④ 全電源喪失時の起動（ブラックアウトスタート）などにおける制御手法、運用手法の解析を計算機シミュレーションと実験により検討した。そして、ブラックアウトスタート時のシステムの起動方法について、その方法を開発した。

(2) 直流技術を用いた電力変換効器 (DC/DC 変換器) の制御方式に関してのシミュレーション解析と実験的検討

① 分散型電源である太陽光発電は、本システムでは電流源となり電流制御を実施している。このとき多くの系統連系に用いる変換器は、太陽光発電の直流入力を交流変換している。そして、この交流変換された電力は、使用する各機器にて直流され消費されているものが多い。そこで、本研究では、省エネ化を高効率化を図るために、直流入力された電

電力を、各負荷機器への変換効率を向上させるために、直流出力する変換器を製作し、実験的検討をおこなった。このとき、出力する電流にノイズが発生することを明らかにした。

②実験データを用いて、直流給電方式のシステム効率向上について、シミュレーション解析を実施した。特に、直流負荷について、計算機サーバー負荷だけでなく、デジタル家電についても再検討する必要性を明らかにした。

(3). 交流—直流ハイブリッド給電における保護協調問題の検討項目 本研究では直流—交流ハイブリッド給電の保護協調について検討した。検討した結果、直流系統は非設置方式で実施し、交流系統は従来の保護装置を用いることで運用した。その結果、交流

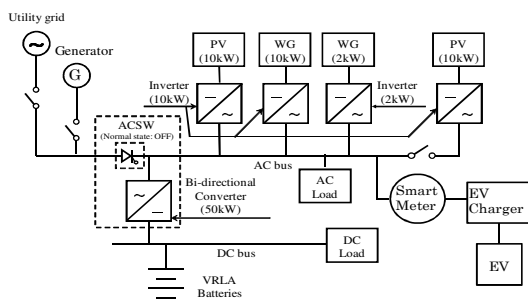
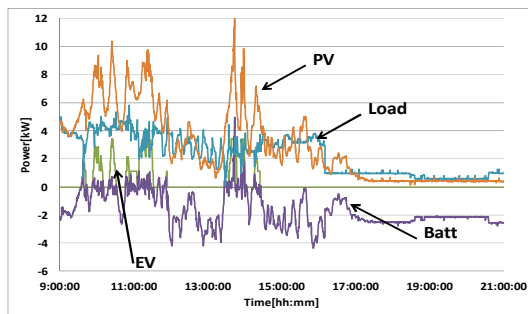
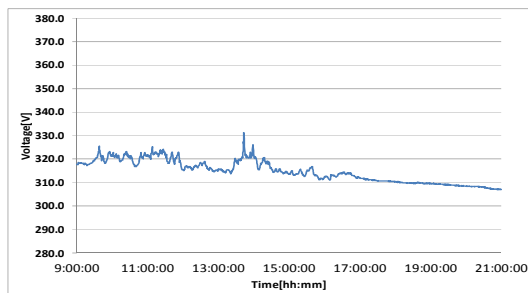


図 8. システム構成図



(a) 電力特性



(b) 電圧特性

図 9. 実証試験における電力特性とマイクログリッドの蓄電池電圧特性

系統と直流系統の保護系に関して影響がないことが明らかにした。

(4). マイクログリッドにおける電気自動車の給電手法の検討 小規模のマイクログリッドを構築し、蓄電池電圧値、太陽光発電装置の出力値、グリッド内の需要を管理しながら給電制御を実施するために、グリッドを管理・制御する装置について開発した。この実験結果では、マイクログリッドにおける発電量と負荷のアンバランス量を電気自動車へ給電することができた。この結果から、電気自動車をマイクログリッドにおける蓄電装置として使用できる可能性を示した。このとき用いた実験システムを図 8 に示す。また、実証試験における電力特性とマイクログリッドの蓄電池電圧特性を図 9 に示す。これらから、マイクログリッドにおいても電気自動車を蓄電装置として用いる可能性を示すことができた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

①雪田和人, マイクログリッドにおける次世代自動車の充電制御手法, 電気学会論文誌 B, 査読有, 133 巻 6 号, 501-504(2013, 6)

DOI: 10.1541/ieejpes.133.501

②Qingshan Xu, Qingqiang Xu, Kazuto Yukita and Katsuhiro Ichivanagi, Approximate linear amplitude model based algorithm for measuring power system frequency, IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering Volume 7, Issue 1, January 2012, Pages: 40-45,(2012.1)

DOI: 10.1002/tee.21693 (査読有)

③Qingshan Xu, Hui Cai, Guoqing Tang, Kazuto Yukita, Katsuhiro Ichivanagi, "Charge evaluation of EDLC for autonomous microgrid energy storage", Electrical Engineering Archiv fur Elektrotechnik, ISSN 0948-7921, Volume 93, Number 1(2012.1) (査読有)

DOI 10.1007/s00202-010-0185-z

〔学会発表〕(計 32 件)

①Tomohito Ushirokawa, Keiichi Hirose, Kazuto Yukita, Katsuhiro ICHIYANAGI and Yoshiaki Okui, "Microgrid using parallel processing UPS", International Conference on Renewable Energy Research and Applications

(2012 年 11 月 14 日) (Nagasaki) (査読有)

②Kazuto YUKITA, KINNO, Tomoki, NINOMIYA, Takayuki, GOTO, Yasuyuki, ICHIYANAGI, Katsuhiro, HIROSE, Keiichi USHIROKAWA, Tomohito, OKUI, Yoshiaki, TAKABAYASI, Hisaaki, "Power Supply System Using DC and AC Micro Grid" ICEE,

(2012 年 7 月 10 日) (査読有) (Kanazawa)

③Kazuto YUKITA, Kiyonori Ban, Takayuki

Ninomiya, Yasuyuki Goto, Katsuhiro Ichivanagi,  
Tomohiro shirokawa, Keiichi Hirose, Yoshiaki  
Okui, “Study of Electric Supply System of EV in  
DC Microgrid“, Darnell's Third-Annual DC  
Building Power Asia No.1-3

(2011年12月13日) (Taipei) (査読有)

④ K.Yukita, K.Ban, Y.Goto, K.Ichivanagi,  
K.Hirose, T.Ushirokawa, Y.Okui and  
H.Takabayashi, “Power Supply System of  
DC/AC Micro Grid System”, Power Electronics  
and ECCE Asia (ICPE & ECCE), 2011 IEEE 8th  
International Conference (2011年6月1日)  
(Korea) (査読有)

⑤ Kazuto YUKITA, Yasutaka Shimizu,  
Yasuyuki GOTO, Katsuhiro ICHIYANAGI,  
Keiichi HIROSE, Takashi TAKEDA,  
Hideyuki Murai, Yoshiaki,  
Takuya Ohta, Yoshiyuki Okui, Hisaaki  
Takabayashi, Toshiro Matsumura, “AC/DC  
Power Supply System with DGs using Parallel  
Processing Method”, RENEWABLE ENERGY  
2010, 27June-2July, 2010, Pacifico  
Yokohama, Japan, O-Ps-4-5 (2010年7月2日)

[図書] (計0件)

[その他]

ホームページ等

愛知工業大学エコ電力研究センター

<http://www.aitech.ac.jp/~power>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

雪田 和人 (YUKITA KAZUTO)

愛知工業大学・工学部・教授

研究者番号：60298461

### (2) 研究分担者

一柳 勝宏 (ICHIYANAGI KATSUHIRO)

愛知工業大学・工学部・教授

研究者番号：80064955

後藤 泰之 (GOTO YASUYUKI)

愛知工業大学・工学部・教授

研究者番号：70178458

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：