

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24年5月29日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21560300

研究課題名（和文） 米国の改質器開発目標に着目した余剰不足電力補償機能付き家庭用燃料電池発電システム

研究課題名（英文） An FC Generation System for Home Appliances Considering a Developing Goal of a Reformer in USA with Oversupply and Shortage Power Compensation

研究代表者

田中 俊彦 (TANAKA TOSHIHIKO)

山口大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：00179772

研究成果の概要（和文）：本研究では、改質器の応答遅れによって発生する余剰・不足電力を補償可能な家庭用燃料電池発電システムを提案し、その有効性を確認した。特に、燃料電池で発電した直流を交流に変換するパワーコンディショナに電源電流平衡化機能を付加することで、柱上変圧器の損失を低減できることを明らかにした。また、内部抵抗を模擬可能な EDLC シミュレータを構成し、その有効性を明らかにした。これらの検討結果から、家庭用燃料電池システムの有効性を明らかにした。なお、経済性の詳細な評価は今後も継続して検討すべき重要な課題である。

研究成果の概要（英文）： This research deals with a Fuel Cell (FC) generation system with a reformer for home appliances. The proposed FC generation system is with an EDLC. The EDLC stores the power generated from FC when the load in a house is changed from heavy to light conditions. The EDLC supplies power to the load when the load is changed from light to heavy conditions. So the proposed FC generation system can compensate the oversupply and shortage power from the FC. A current balancer operation is added to the power conditioner. This balancer operation improves the efficiency of the pole mounted distribution transformer. A variable capacity capacitor simulator with an inner resistor is also proposed. A proto type laboratory model is constructed and tested. Detail evaluations of the constructed mode and economical review are an important issue for further study.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

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：パワーエレクトロニクス、家庭用燃料電池発電

1. 研究開始当初の背景

米国のブッシュ大統領は、二期目の就任時に“水素エネルギー利用”を宣言した。これ

以来、IEEE（米国電気電子学会）主催の会議におけるサステナブルエナジーとして燃料電池発電（以下、FCと略）が世界中から注目

されている。一般に、FC では、燃料として水素の代わりに、LNG や LPG が使用され、改質器を介して水素が FC に供給される。米国の DOE の改質器開発目標では、2010 年までに 10% から 90% までの負荷変動に対して 1 秒としていた。一般家庭に FC 発電システムを普及させるためには、改質器の反応遅れ期間中の FC 発電システム内の余剰または不足電力が発生する問題を解決する必要がある。

2. 研究の目的

研究背景で指摘した、余剰または不足電力は、標準的な家庭 (200V, 75A 契約) では、DOE の開発目標を考慮すると、12kJ となる。このエネルギーは市販されている電力用 EDLC (M-CAP) で吸収可能である。

本研究では、

(1) 改質器を考慮した模擬装置の開発、(2) 単相回路の新しい瞬時基本波有効・無効電流検出法の提案と本研究の発電システムへの応用、(3) 改質器の遅れを考慮した EDLC 容量の決定、(4) 家庭用燃料電池発電システムの実験室レベルでの構成、さらに、(5) 経済の観点からの検討を行い、提案した FC 発電システムが一般の家庭へ普及させられることを最終目標として研究を推進してきた。

3. 研究の方法

研究目的の (1) では、パソコンを接続しパソコンにより出力電圧および電流が制御可能な直流電源をもちいて構成した。(2) では、単相 dq 座標変換を応用した単相 PLL を構築し、この位相情報を用いることで簡易に基本波有効・無効電流検出法を実現した。このとき、単相 PLL 回路の制御ゲインや安定性についてはシミュレーションと実験により検討している。これらを、DSP を中核とした FC の発電電力を交流に変換するパワーラインコンディショナへ付加し、家庭内の電力品質の向上を実現する。(3) では、改質器の遅れと家庭内での電力を考慮し、EDLC の容量を検討するが、EDLC の容量を可変としたい必要性が生じ、内部抵抗を模擬可能な EDLC シミュレータの構築について検討した。(4) では、これまで検討してきている各項目ごとの検討結果を統合し、家庭用 FC 発電システムを構成し、総合的な評価を行うものであり、これらの結果をもとに、項目 (5) では、FC 発電システムの発電単価と深夜電力の購入単価などを総合的に検討し提案システムの経済性を評価するものである。

4. 研究成果

本研究課題の研究成果を研究項目ごとに

以下に整理する。

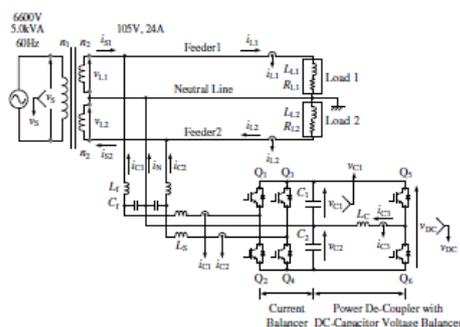


図1 ハーフブリッジベースパワーコンディショナ

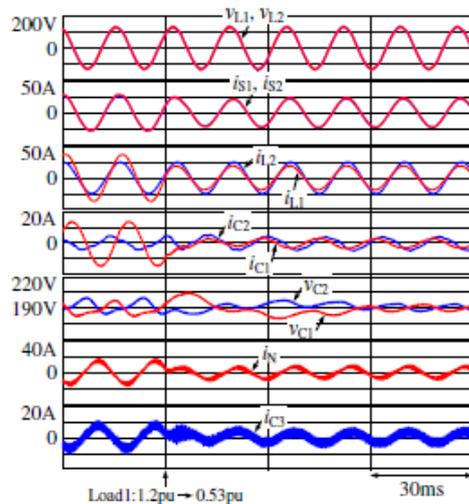


図2 ハーフブリッジベースパワーコンディショナの実験波形

(1) では、直流電源をパーソナルコンピュータを用いて J. C. Amphlett 氏等の報告結果を基に 5kW レベルの FC 模擬装置を構築した。このとき、改質器の応答遅れは一次遅れ要素を出力電流制御ブロックに考慮することにより実現した。

(2) において、はじめに、FC 用パワーラインコンディショナを制御するために不可欠な単相 PLL について、ゼロクロス検出を用いない極めて安定な回路を文献調査の結果から採用し、安定な位相情報の獲得を可能にした。また、FC で発電した電力を交流に変換するパワーコンディショナとして、直流電圧バランス機能を有するハーフブリッジベースの新しい回路トポロジーを提案し、その有効性を明らかにした。図 1 に、本研究で提案した直流電圧バランス機能を有するハーフブリッジベースの新しいパワーコンディショナを示す。これは、3 レグ構成の IGBT を用いて構成できる点に特長があり、さらに 3 レグの電流定格を同一にできるため、6-in-1 モジ

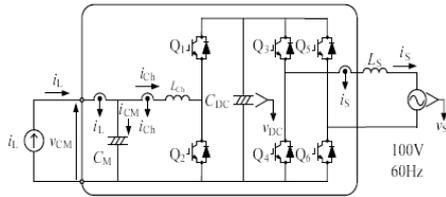


図 3 EDLC シミュレータ

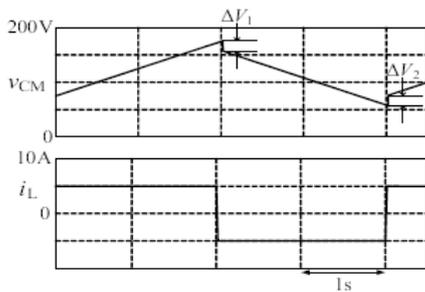


図 4 EDLC シミュレータの動作波形

ュールの IGBT を用いることが可能で、安価なパワーコンディショナを構成できる。図 2 は、提案したパワーラインコンディショナを単相三線式配電用電流バランスとして動作させたときの各部の電圧・電流波形を示している。Load1 および Load2 は、一般家庭内の負荷を模擬している。Load1 および Load2 が不平衡状態であるが、提案したパワーコンディショナに電流バランス機能を付加することで、電源電流を平衡状態とすることができる。したがって、FC 発電システムでは、FC による発電を実現しながら電源電流を平衡化可能である。一般に、柱上変圧器の低圧側の各巻き線の電流が不平衡状態であると効率が低下することが知られている。本提案パワーコンディショナは、この問題を解決することができる。

さらに、(3)では、家庭での電力使用量および改質器の応答遅れから、市販されている M-CAP で余剰・不足電力を補償可能であることを明らかにした。しかしながら、EDLC の最適な容量を決定し、FC 発電システムの実験装置を構成するにあたり、EDLC の容量を可変できることが望ましい。さらに、EDLC には直列内部抵抗が含まれている。これらのことから、直列内部抵抗を模擬できる可変容量の EDLC シミュレータを構築し、その有効性を実験により明らかにした。図 3 に、EDLC シミュレータの構成図を示す。家庭での使用を念頭におき、単相構成としている。充電モードおよび放電モードを模擬するため双方向昇降圧チョッパ回路と単相インバータから構成されている。また、電源側の電流制御には直流キャパシタ電圧一定制御を中核とする制御法を用いており、充電モードから放電モ

ドおよび放電モードから充電モードへ自動的にモードを移行できる。図 4 に、動作波形を示す。充電モードではキャパシタ電圧が上昇し、放電モードではキャパシタ電圧が減少している。また、モード切り替え時に電圧ジャンプが発生し、内部抵抗を模擬できていることが確認できる。

(4)では、以上の検討結果から家庭用 FC 発電システムを構成し、総合的な評価を行うものであるが、本研究期間中において単体の構成要素の評価を終了することはできたが、全体システムでの実験による評価を完了できなかった。このため、(5)の経済性の評価も完了することができず、これらは今後検討すべき重要な課題である。

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 8 件)

①馬場雄介, 菅原和也, 岡本昌幸, 平木英治, 田中俊彦, 直流電圧平衡化回路を有するハーフブリッジインバータを用いた単相三線式配電用電流バランス, 電気学会論文誌D分冊, 査読有, 131 巻, 2011, pp. 880-887

② Baba, Y., Okamoto, M., Hiraki, E., and Tanaka, T., A half-bridge inverter based current balancer with the reduced dc capacitors in single-phase three-wire distribution feeders, Conference record of Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 査読有, Vol. 1, 2011, pp. 4233-4239

③ Tanaka, T., Tanaka, A., Okamoto, M., and Hiraki, E., A large-capacity capacitor simulator with an inner-series resistor, Proceedings of IECON 2011 - 37th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, 査読有, Vol. 1, 2011, pp. 4233-4239

[学会発表] (計 10 件)

①馬場雄介, 岡本昌幸, 平木英治, 田中俊彦, パワーデカップリング機能を有するハーフブリッジインバータを用いた単相三線式配電用電流バランスの制御法, 電気学会半導体電力変換研究会, 2011/7/28, 釧路生涯学習センター (釧路市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 俊彦 (TANAKA TOSHIHIKO)
山口大学・大学院理工学研究科・教授
研究者番号：00179772

(2) 研究分担者

平木 英治 (HIRAKI EIJI)
山口大学・大学院理工学研究科・准教授
研究者番号：20284268