移動可能なコンテナに集約した
直流主体のマイクログリッドのシステム概要と実証

小　林　信　裕[*1]
芹　澤　　毅[*2]　　武　田　正　二[*2]

要　　旨

本研究では，カーボンニュートラルの推進と災害時の電源確保を目的に，太陽光発電，蓄電池，充放電器，電気自動車および3ポート電力変換器のSmart Power Hub®（SPH®）[1]を組み合わせた直流主体のマイクログリッドを構築し，ICI-Campで実証した．自動車用インバータ技術を建築分野の電力供給システムへ応用することで，システムの小型化を実現し，主要機器を移設可能な20フィートコンテナに搭載した．実証では，SPH単体で最大96%の電力変換効率を確認した．また，太陽光発電出力および交流負荷が急激に変動した場合でも，系統電力の補填と蓄電池の充放電により需給差を吸収し，必要電力を継続して供給できることを確認した．さらに，晴天日には，系統消費電力量のピーク値を77%削減，系統電力消費量の日積算値を47%削減した．以上より，本システムが平常時の電力削減に活用できる可能性を示した．

キーワード　直流マイクログリッド／太陽光発電／蓄電池システム／V2X／電気自動車／
BCP／カーボンニュートラル／移動型電源

目　　次

１．はじめに
２．システム概要
３．Smart Power Hubの構成と特長
４．実証概要
５．結論

SYSTEM OVERVIEW AND FIELD DEMONSTRATION OF THE RELOCATABLE “DC MICROGRID IN CONTAINER”

Nobuhiro　KOBAYASHI
Takeshi　SERIZAWA　　**Shoji　TAKEDA**

Synopsis:

This paper describes a containerized DC microgrid system integrating photovoltaic power generation, stationary batteries, AC loads, DC V2X and BEVs. The proposed system applies a three-port power conversion unit (Smart Power Hub) and packages the major equipment into a relocatable 20-ft container. Field demonstration tests at ICI-Camp confirmed a maximum power conversion efficiency of 96% for the Smart Power Hub alone. The tests also confirmed that the system maintained a stable power supply under rapid fluctuations in photovoltaic output and AC loads by balancing grid power and battery charging and discharging on the order of microseconds. On a sunny day, the maximum 30-minute grid energy consumption and cumulative grid energy consumption were reduced by 77% and 47%, respectively. These results demonstrate the effectiveness of the proposed system in reducing grid energy consumption.

＊１本店　ICI 総合センター　ICI 未来共創センター
＊２ダイハツ工業株式会社　くるま開発本部　くらしとクルマの研究部　エネルギーグリッド開発室
1 Smart Power Hub, SPH は豊田中央研究所の商標

1. はじめに

2050 年カーボンニュートラルの実現に向けて，再生可能エネルギーの導入拡大が進められている．一方，自然災害が激甚化する中，地域が自立的に電力を確保できる仕組みの整備が求められる．これらの課題の解決策の一つとして，マイクログリッドに関する研究開発が進められている．Lasseter らは，複数の分散型電源と負荷を単一の制御可能なシステムとして運用するマイクログリッドの基本概念を提唱し，停電時の自立運転および電源間通信に依存しない複数電源の協調制御を実現するための基本技術を示した [1) 2) 3)]．Hirsch らは，マイクログリッドがレジリエンス向上，再生可能エネルギー導入促進およびエネルギーの自立化を実現する有力な手段であると整理している [4)]．さらに，Al-Ismail は，直流マイクログリッドにおいて電力変換段数の削減により変換損失を低減できることを示した [5)]．近年では，太陽光発電（以降 PV とする）などの出力変動の大きい再生可能エネルギーの導入拡大により，電力需給バランスの維持が課題となっている．そのため，蓄電池や電気自動車（以降 BEV とする）を活用したマイクログリッドには，系統電力の安定化，レジリエンス向上および脱炭素化への貢献が期待されている．

こうした背景のもと，前田建設は公共施設や住居・店舗・工場等，建築のライフサイクル全般でカーボンニュートラルを推進すべく，ZEB/ZEH 化に取り組んでいる．また，自社で運営している ICI 総合センター内にある廃校を利活用した研修施設である「ICI-Camp」の体育館は，取手市との防災協定に基づき市民の避難所に指定されており，防災拠点・被災地での電源確保の必要性があった．一方，ダイハツ工業は電動化等による車両走行時の CO_2 排出量の削減に加え，工場や販売店舗など生産・非生産部門の脱炭素化も喫緊の課題となっていた．このため，エネルギーを地産地消できるマイクログリッドシステムの研究開発を進めており，システムの有効性と信頼性を検証できる実証フィールドを求めていた．前田建設とダイハツ工業は，こうした両社のニーズが合致したことから，災害時にも自立運転が可能で，移動可能なコンテナに集約した直流主体のマイクログリッドの実証を共同で開始した [6) 7) 8)]．本報では，システムの設計思想，機器概要，および実証による電力削減効果を報告する．

2. システム概要

2.1 システム構成

図-1 にマイクログリッド形式の比較を示す．一般に，従来のマイクログリッドシステムは交流を基軸として構成されてきた．これは商用電力系統が交流（以降 AC とする）を標準としているためであり，発電・蓄電・負荷のいずれの機器も交流系統への接続を前提に設計されている．しかし， PV や蓄電池，BEV など，多くの分散型電源・蓄電デバイスは本質的には直流（以降 DC とする）を扱う機器である．このため，AC 主体のシステムでは，各機器の接続時に DC/AC あるいは AC/DC 変換が複数回生じ，エネルギー損失の増大やシステム構成の複雑化を招くという課題があった．

これに対し，本研究で対象とする直流主体のマイクログリッドでは，**図-2** に示す通り，PV，蓄電池，BEV，充放電器（以降 V2X とする），さらに電力変換器 Smart Power Hub®（以降 SPH とする）を共通の直流バスに接続する構成を採用する．これにより，直流で発電し，直流のまま蓄電するため，変換回数が最小化され，結果として電力変換ロスの削減，装置の小型化，ならびに，システム全体の高効率化につながる．

2.2 自動車用技術を活用したシステム設計

図-3グリッドシステムとハイブリッド電気自動車の比較を示す．両者は，発電，蓄電，電力消費およびエネルギーマネジメントの各機能を有する点で類似しており，取り扱う電圧および電力の範囲についても親和性が高い．このため，本システムの構築に当たっては，自動車分野で培われた技術的知見を活用した．特に，自動車用インバータ技術を建築分野の電力供給システムへ応用することで，回路構成の簡素化を図り，システムの低コスト化および小型化を実現した．

2.3 コンテナ型システムの特長

図-4 に実証装置の外観を示す．前述の通り機器の小型化により，蓄電池・充放電器・SPH の主要機器はトレーラーで牽引が可能な 20 フィートコンテナ 1 基に搭載可能となり，現地に設置して再エネ電源と接続することで，短時間で電力供給システムとして立ち上げ可能な設計としている．また，コンテナに集約することで，現地で機器を収納する建屋を新設する必要が無い上に，設置工数の削減にも寄与する．

この仕組みにより，ある建物におけるシステムの利用終了後も，別の建物へ移設して継続的に活用でき，設備投資の回収を特定の建物における利用期間のみに依存させず，複数の建物または拠点にまたがる継続利用によって投資回収を図ることが可能となる．さらに，夏季と冬季で異なる拠点で運用するなど，季節によって異なる電力需要や再生可能エネルギーの利用条件に応じて設置場所を変更する運用も可能であり，設備の年間稼働率および資産利用効率の向上が期待できる．特に，将来的な需要縮小が想定される地域では，建物に固定された設備が遊休化する可能性がある．設備を移設・再利用できることは，このような遊休化の抑制に有効である．さらに，故障時にはコンテナ単位で交換することにより早期復旧を図ることができる．

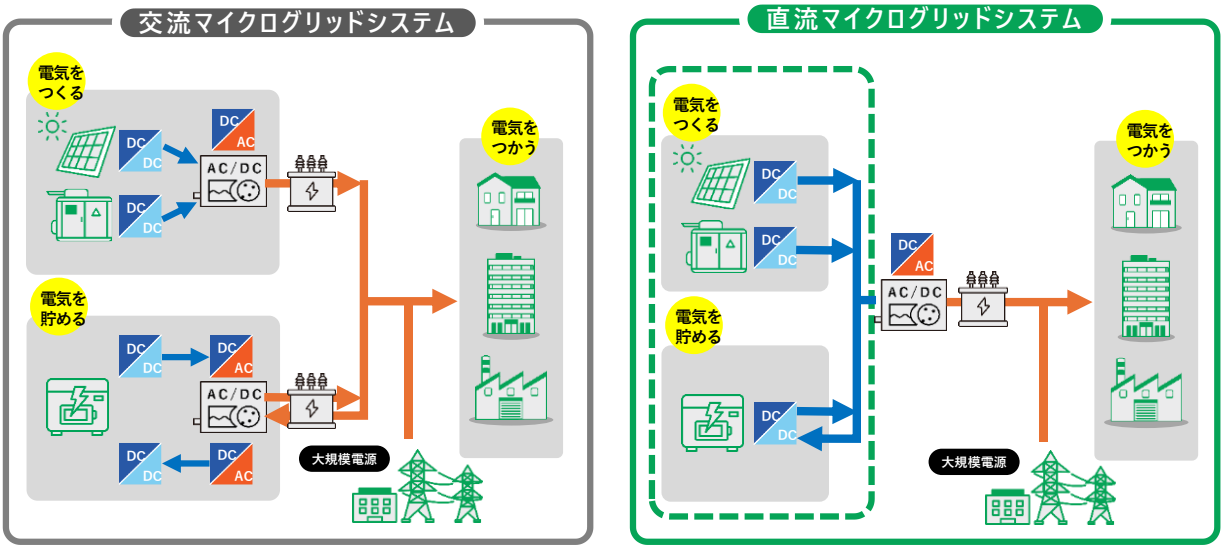


図-1 マイクログリッド形式の比較

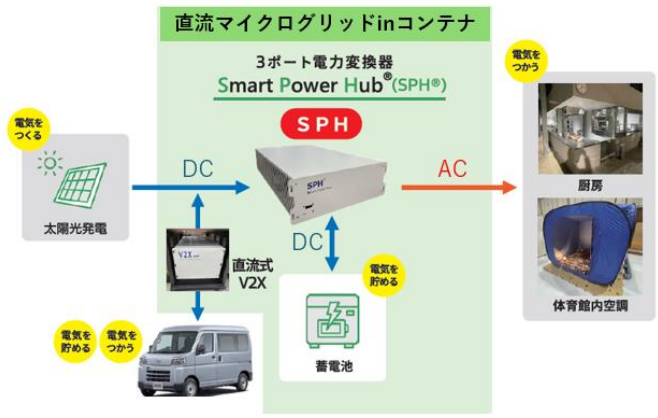


図-2 マイクログリッドシステムの構成



図-4 マイクログリッド in コンテナの外観

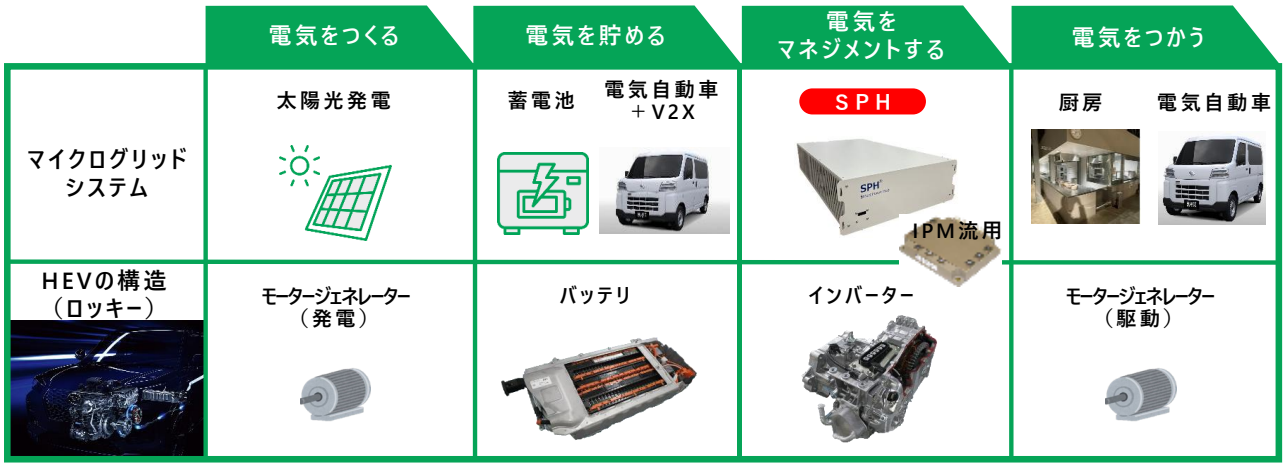


図-3 マイクログリッドシステムとハイブリッド電気自動車の比較

2.4 平常時・非常時の運用の想定

平常時は，PV による電力を建物負荷へ優先供給し，余剰分は蓄電池および BEV に充電して自家消費率の向上を図る．これにより，再生可能エネルギーの有効活用と系統電力の使用量削減が期待できる．非常時は，系統停止が起こっても SPH から見ると発電源の一つが停止したに過ぎず，PV 電力と蓄電池から瞬停なく建物への電力供給を継続する．

図-5 に BEV による電力融通の考え方を示す．BEV を”動く蓄電池”として位置づけ，PV と蓄電池を備える拠点から避難所等の別拠点へ電力を搬送することで，当該拠点では V2X 設備のみで非常時に電力を確保できる．また非常時だけでなく，平常時には，建物の電力需要ピーク時に BEV を活用してピークカットを図り，電気基本料金の低減に資する．

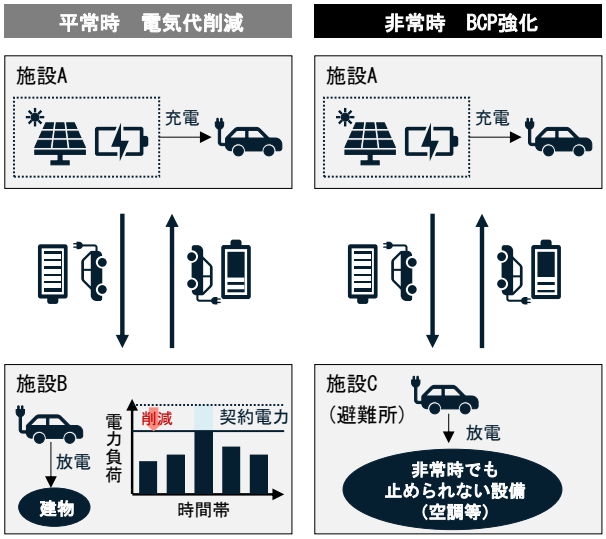


図-5 BEV による電力融通

3. Smart Power Hub®の構成と特長

SPH は発電源，蓄電池，負荷の 3 つ全てを双方向で繋ぎ電気の同時同量を制御する中核装置で，豊田中央研究所とダイハツが共同開発した．定格出力は 75kW で，これは電気自動車用インバータ 3 基と中性点付高周波絶縁トランスで構成されている [9) 10)]．これにより従来必要だった大きく重い商用トランスを不要にしている．

図-6 に従来構成と 3 ポート電力変換器を用いた直流マイクログリッド構成の比較を示す．トランス中性点の独自制御技術により [11)] DC-DC コンバーターを不要とすることで，発電と蓄電間の直流変換，ならびに蓄電と負荷側との交流変換に伴う損失を低減し，高効率と小型化を実現している．

図-7 に従来技術と本システムの機器構成を示す．従来は複数の変換器や部品を組み合わせる必要があり大きく複雑なシステムとなる．一方 SPH は，自動車用部品，インバータ技術を活用し同等出力で体積を約 1/10 に削減している．

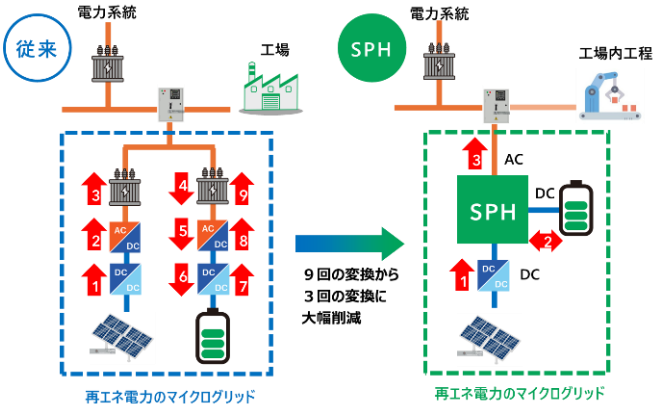


図-6 従来構成と 3 ポート電力変換器を用いた直流マイクログリッド構成の比較

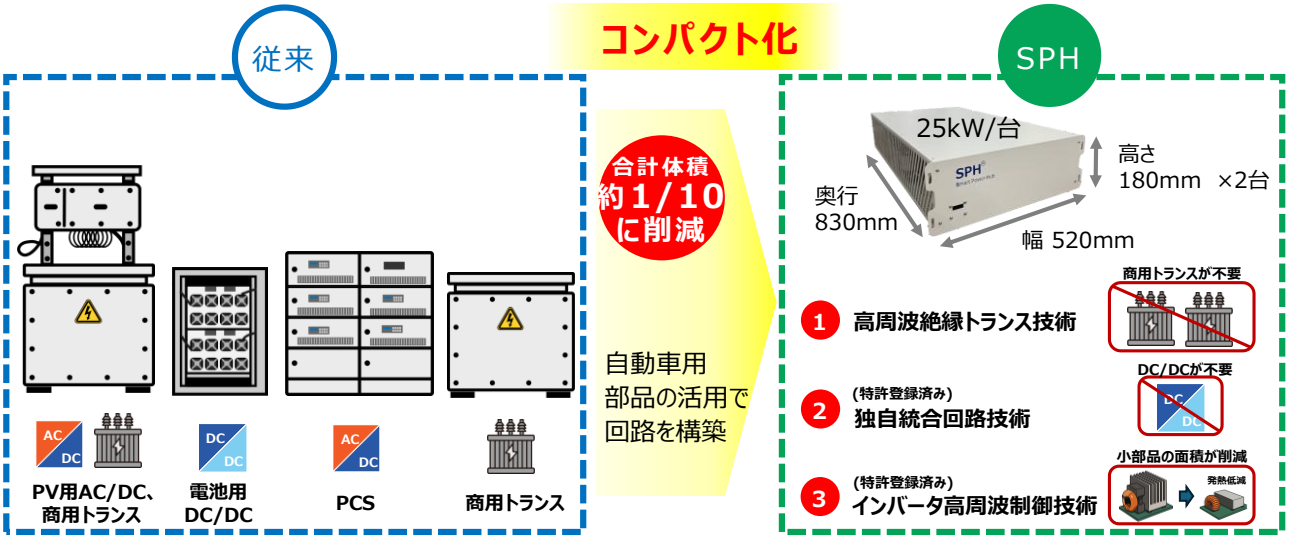


図-7 従来構成と 3 ポート電力変換器を用いた直流マイクログリッド構成の比較

図-8 に従来技術と本システムの電力制御を示す．従来技術では発電，蓄電，負荷間の各機器間を通信で繋ぎ電力の需給バランスを取る必要がある．本システムでは 3 ポート接続の優位性を活かし SPH 内でこのバランスを直接制御する [12] ことでマイクロ秒オーダーの応答を実現している．発電，負荷双方の変化に即応し差分を蓄電池から充放電することで瞬停レスを実現している．

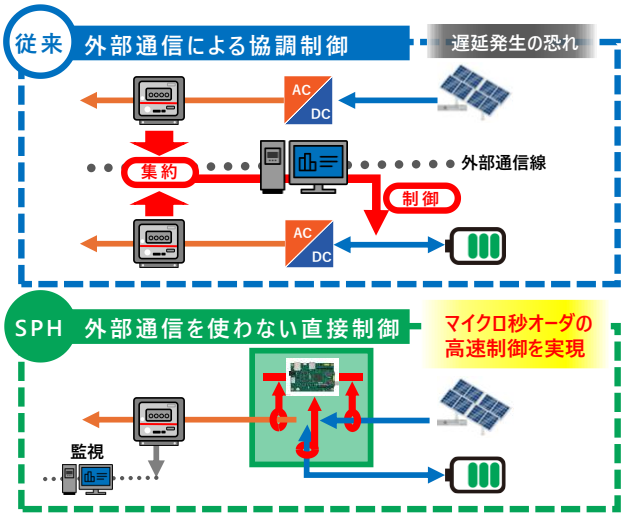


図-8 SPH 高速制御の仕組み

4. 実証概要

本実証では，ICI-Camp の用途が異なる二つの施設である厨房と体育館を対象に，PV，蓄電池，V2X，BEV を組み合わせた直流主体のマイクログリッドを構築し，電力削減，BCP 対策，電力融通の有効性を評価する．本報では，SPH 単体の効率，PV 出力・負荷変動への追従性，デマンド抑制効果，系統電力の削減効果を示す．

4.1 実証システムの概要

図-9 に実証システムの接続構成を示す．PV は旧小学校プール内に設置し，リユース品と新品を併用して合計出力 30kW を設置，日射量や温度の変化に応じて最大電力を取り出す MPPT（Maximum Power Point Tracking：最大電力点追従制御）機能を備えた電力変換装置を介して，設計電圧 380V の直流高圧バスに接続される．直流型

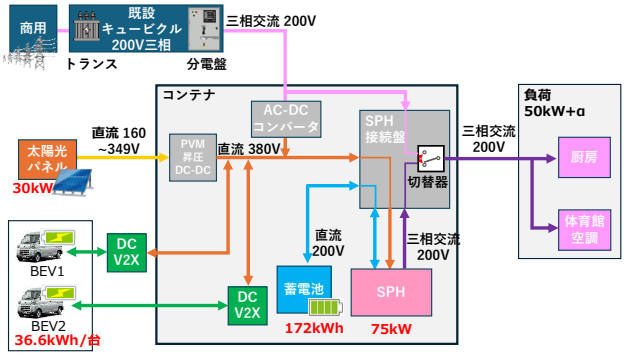


図-9 実証システムの接続構成

V2X は，PV 電力を直流のまま BEV（バッテリー容量 36.6kWh）へ充電可能で，放電時には PV 発電と並列の電力源として利用する．蓄電池容量は 172kWh で，セルは低コストで結晶構造が安定し，三元系電池より熱分解温度が高い定置用リン酸鉄リチウムイオン電池（LFP）を採用している．

4.2 実証結果

(1) SPH 単体の電力変換効率

図-9 に SPH 単体の電力変換効率を示す．グラフには従来 AC システムのシミュレーション結果を併記している．実証試験では，3 ポート電力変換器を適用したシステムでは平均 94.8%，最大 96%の電力変換効率を確認した．

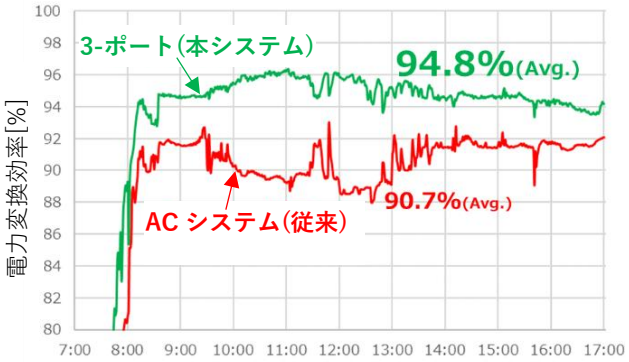


図-10 従来 AC システムと比較した電力変換効率

(2) 実運用時の PV・蓄電池・負荷の電力

図-11 に実運用時の系統電力・PV 出力・蓄電池入出力・負荷（体育館＋厨房電力）変動の電力時系列データを示す．10 時頃に PV 発電量が余剰した際は，蓄電池に充電されており，11～13 時に AC 負荷が PV 出力を上回った際は蓄電池から放電されている．SPH が電力バランスをコントロールすることで，日中は PV 出力および AC 負荷が急激に変動しても，整流器からの系統電力の補填と蓄電池の充放電により需給差を吸収し，安定して負荷へ電力を供給できることを確認した．

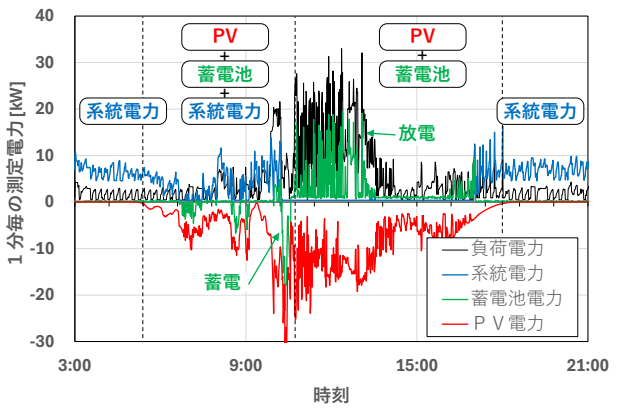


図-11 実運用時の PV・蓄電池・負荷の電力プロファイル（2026 年 4 月 21 日）

(3) SPH 単体の電力変換効率

図-12 に晴天日の系統電力量（買電）の 30 分積算値を示す．PV が発電する晴天日に於いては，システムを導入することで電力量最大値を 77%削減できた．本システムにより電気の基本料金を削減できる可能性が示唆された．夜間は整流器を介して系統電力を受電することと，コンテナ内を空調している補機の電力消費により消費電力が増加するものの，日中は系統電力をほとんど使用せず，PV による発電で賄う事が出来る．

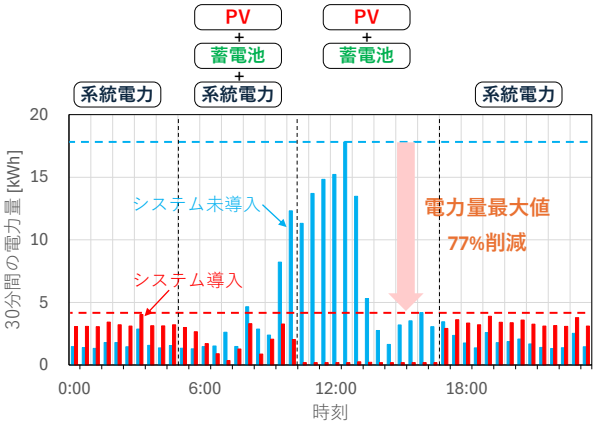


図-12 晴天日の系統電力量の 30 分積算値
（2026 年 4 月 21 日）

図-13 に晴天日の系統電力量（買電）の累積値を示す．晴天日にはシステムを導入することで系統電力を 47%削減できた．実用では脱炭素だけでなく，経済合理性，BCP を複合的に鑑みながら各構成機器の容量を設計する必要があるが，電力削減効果を実証できたと言える．

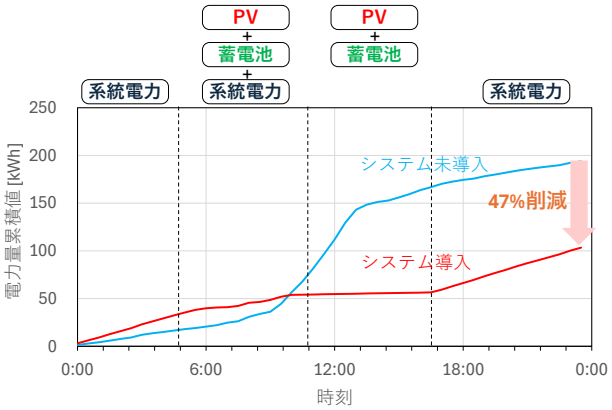


図-13 晴天日の系統電力量の累積値
（2026 年 4 月 21 日）

5. 結論

本研究では，PV，蓄電池，V2X，BEV および SPH を組み合わせた直流主体のマイクログリッドを構築し，ICI-Camp において実証を行った．また，自動車用インバータ技術を建築分野の電力供給システムへ応用することで，システムの低コスト化および小型化を実現し，主要機器をトレーラーで牽引が可能な 20 フィートコンテナ 1 基に搭載した．実証で得られた主な結果を以下に示す．

- SPH 単体の電力変換効率は平均 94.8%，最大 96%であった．
- PV 出力および AC 負荷が急激に変動しても，整流器からの系統電力の補填と蓄電池の充放電により需給差を吸収し，安定して負荷へ電力を供給できた．
- 晴天日には，システムを導入することで系統消費電力量の 30 分ピーク値を 77%削減，系統電力消費量を日積算で 47%削減し，電力削減効果を実証した．

今後は，自然災害への備えと平常時の電気料金削減を両立するシステムとして，その価値をさらに高めていく．また，コンビニエンスストア，自動車販売店舗，AI 向けエッジデータセンター，工場など，脱炭素化への対応や停電時にも電力供給の継続が求められる施設への展開を視野に入れ，システムの付加価値向上を図る．

謝辞：本発表をまとめるにあたり，実証実験に多大なる協力をいただいております豊田中央研究所エマージングエナジー研究部門　戸村修二氏，ゴー・テックチャン氏，種村恭佑氏に感謝いたします．

参考文献

1) R. H. Lasseter: Microgrids, IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, 2002.
2) R. H. Lasseter, P. Paigi: MicroGrid: A Conceptual Solution, IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference, 2004.
3) R. H. Lasseter, A. Akhil, C. Marnay, et al.: Integration of Distributed Energy Resources: The CERTS MicroGrid Concept, 2002.
4) A. Hirsch, Y. Parag, J. M. Guerrero: Microgrids: A review of technologies, key drivers, and outstanding issues, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.90, pp.402-411, 2018.
5) F. S. Al-Ismail: DC Microgrid Planning, Operation, and Control: A Comprehensive Review, IEEE Access, Vol.9, 2021.
6) 前田建設工業プレスリリース: 移動可能なコンテナに集約した直流主体のマイクログリッドシステムの実証実験開始，2025 年 11 月 06 日
7) ダイハツ工業: 移動可能なコンテナに集約した直流主体のマイクログリッドシステムの実証実験開始，2025 年 11 月 06 日
8) 移動可能なコンテナに集約した直流主体のマイクロ小林信裕，芹澤毅: 移動可能なコンテナに集約した直流主体のマイクログリッドの実証概要と構成技術，クリーンエネルギー 2026 年 6 月号,日本工業出版

9) ゴー・テックチャン，種村恭佑，戸村 修二: 電力変換装置および電力変換システム，特許第 7192840 号，2022 年 4 月 27 日
10) ゴー・テックチャン，種村恭佑，戸村修二: 電力変換装置，特許第 7687299 号，2024 年 2 月 15 日
11) Goh Teck Chiang, Kyosuke Tanemura, Shuji Tomura: Proposal and Loss Analysis of High-Frequency 3-Phase SiC Integrated Power Converter for Renewable Energy-Battery-Grid Applications, IEEE trans. on Industry Applications, Vol. 60, Issue 2, 2024.
12) 種村恭佑，ゴー・テックチャン，高山直人，村山一郎，福塚啓司: 電力変換装置及び電力変換装置の制御方法，特開 2025-088835，2025 年 6 月 12 日