

MADR システム(メール連動型自動 DR システム)の開発

(株)四国総合研究所 電力技術部 吉田 正志
(株)四国総合研究所 電子アグリ技術部 中西 美一

キーワード: デマンドレスポンス
DR システム
メール連動型自動システム
空調機
業務用空調機
セントラル空調
熱源機
需要家機器制御
需給運用
再エネ普及
再エネ抑制回避

Key Words : Demand response
Demand response system
Mail-linked automated system
Air conditioner
Commercial air conditioners
Central air conditioning
Heat source machine
Consumer equipment control
Supply and demand management
Spread of renewable energy
Avoidance of renewable energy suppression

Development of MADR system (Mail-linked automatic DR system)

Shikoku Research Institute, Inc., Electric Power Technology Department

Masashi Yoshida

Shikoku Research Institute, Inc., Electronics and Agricultural Technology Department

Yoshikazu Nakanishi

Abstract

The introduction of renewable energy sources such as solar power generation, whose power generation varies depending on weather conditions, is rapidly increasing. This calls for efforts to stabilize supply and demand operations and avoid suppression of renewable energy generation. In these circumstances, the importance of demand response (DR) technology, which allows the demand side to intelligently control consumption according to supply conditions, is increasing. To address this issue, we have developed a system that automates load reduction operations for air conditioners and other devices that currently rely on manual operation by customers. This article introduces a system that can automate load reduction operations by making only a slight change to the method of notifying a large number of contracted customers of DR requests by email.

1. はじめに

天候等により発電量が変動する太陽光発電などの再生可能エネルギー発電導入が急増し、需給運用が益々困難化し、需給運用の安定化や再生可能エネルギー発電の抑制回避への取り組みが必要となっている。

こうした状況から、需要側が供給状況に応じて賢く消費量を変化させるデマンドレスポンス (DR) 技術の重要性が高まっている。

当社では、既に市場にある家庭用電気給湯器（電気温水器・エコキュート）等を活用し、昼間上げ DR に利用でき早期実現性ある「放送型無線通信を用いた需要家機器活用技術」を開発している。

今回、下げ DR に空調機などの負荷抑制運転をお客さまの手動操作に依存している現状を自動化可能とする DR システム（MADR システム）を開発したので紹介する。

2. MADR(メール連動型自動 DR)システムの概要

契約する多数のお客さまに電子メールで DR 要請を行う手法に僅かな修正を加えるだけで、空調機などの負荷抑制運転を自動化する。

お客さま向けの DR 要請メールは現状のままで、MADR システム向けの DR 要請メールのみ暗号化して送信し、安価なコストで広域通信が可能な LTE-M 通信機能を搭載した DR コントローラを負荷抑制機器に設置することで、DR 要請時間内の負荷抑制運転を自律制御で行う^{※1}。

確実な DR 供給力を得ることができると共に、お客さまの機器操作手間を軽減する。

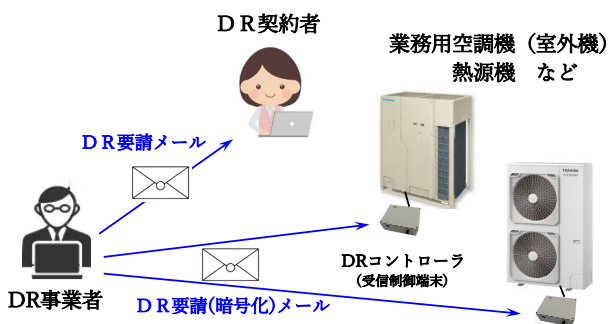


図 1 MADR システムの概要

※1：四国電力㈱および当社の共同で特許出願（2025. 4）

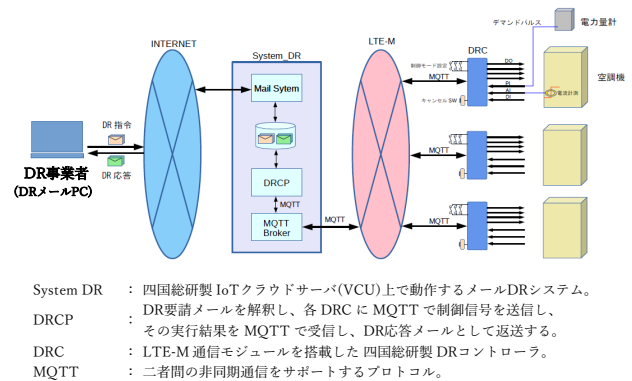


図 2 MADR システム設計

2.1 空調設備の外部制御機能

業務用途や産業用途の空調設備機器には、デマンド制御用の機能が搭載されている。

この機能を利用することで容易に外部から制御することが可能である。

(1) 業務用空調機・マルチ空調機

業務用空調機やビル用マルチ空調機の室外機には、メーカーや機種により設定抑制量は異なるものの定格消費電力の抑制や強制サーモ OFF できる機能が搭載されており、機種に応じた外部入力アダプタを介して、選択する機能端子に接点信号を入力することで運転制御が行える。

(2) 熱源機

セントラル空調に用いられる熱源機には、デマンド制御機能が搭載され、熱源機を制御するコントローラ部のデマンド信号入力端子に接点信号を入力することで、任意設定するデマンド値の運転が行える。

2.2 セキュリティ対策

(1) MADR システム向け DR 要請メール

DR 要請メールに含まれる制御データ部は、現時点で最も安全な標準暗号方式 AES256 で暗号化し、復号鍵を持たない第三者による解読は極めて困難である。

System DR(クラウドサーバ)では、受信したメール中の暗号化された制御データを復号鍵で復号して、制御データに含まれる事業者 ID とメール平文に含まれる事業者 ID を比較しメールの信憑性を検証するなど、偽りメールによる誤った DR 制御を防止する。

(2) デバイスネットワーク

DR コントローラは、LTE-M 回線上で暗号化 MQTT 通信により、System DR 内で動作する MQTT Broker と双方向のデータ通信を行う。

MADR システムでは、クライアントデバイスが Broker に接続する際の認証を安全性の高い双方向認証とし、System DR が発行したクライアント証明書を内蔵した DR コントローラしか MQTT Broker に接続することができない。

また、PC 上で動作するソフトウェアが MQTT Broker に接続する際にもクライアント証明書が必要で、証明書を持たない第三者による DR コントローラの遠隔操作は行えない。

MQTT Broker には外部サービスを使用せず、System DR 内で MADR 専用システムを運用しており、サイバーアタックにも高い耐性を備える。

更に、DR コントローラは、定期的に生存確認情報を System DR に送信し、故障や盗難の発生時には自動的に当該クライアント証明書を一時的に無効化することで、証明書の悪用を防ぐことができる。

2.3 DR コントローラ

System DR から DR 制御データを受信し、メモリ上の処理待ちキューに追加する。新規の制御データを追加する都度、キューの構造全体を不揮発メモリ上のファイルに上書き保存し、キューの先頭から順次制御データを取り出し、制御データで指示される開始日時～終了日時の間、制御信号を出力すると共に DR 実行中 LED を点灯する。

また、キャンセルスイッチを設け、実行中の DR 制御を中止することも可能で、制御対象機器のお客さま操作にも対応する。

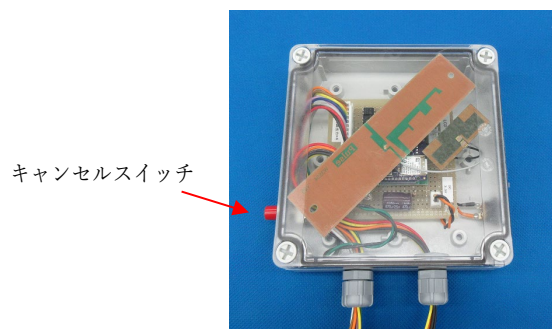
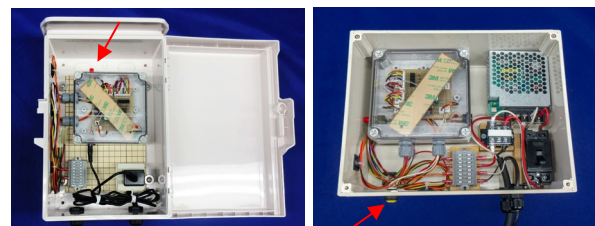


図 3 DR コントローラ (本体・試作機)



キャンセルスイッチ

図 4 DR コントローラ (設置用・試作機)

2.4 制御出力の詳細設計

空調機の制御出力には、3つのモードを有し、DR コントローラ基板上的の選択スイッチにより切り替える。

- ① 空調機搭載機能や熱源機デマンド制御などに適した、DR 要請時間内接点信号を ON 出力する「単純 ON/OFF モード」
- ② DR 要請メールで負荷抑制率を指示することができ、負荷抑制率の時間設計に応じた DR 要請時間内の接点信号を間欠 ON/OFF 出力する「遠隔設定間欠 ON/OFF モード」
- ③ お客さま要望等の負荷抑制率に個別設定でき、設定した負荷抑制率の時間設計に応じた DR 要請時間内の接点信号を間欠 ON/OFF 出力する「個別設定間欠 ON/OFF モード」

抑 制 率	1800 秒 (30分)			
	900 秒スロット		900 秒スロット	
50 % 抑制	450 秒	450 秒	450 秒	450 秒
40 % 抑制	360 秒	540 秒	360 秒	540 秒
30 % 抑制	270 秒	630 秒	270 秒	630 秒

・ 1 スロット (900 秒) を ON 時間と OFF 時間に分割する。

※ 出力信号 ON は空調機停止 (強制サーモOFF)、OFF は空調機稼働 (通常状態)

図 5 間欠運転の時間設計

2.5 その他の機能

DR コントローラの制御出力は接点信号 4 出力の他、4-20mA リニア制御にも対応する。

また、パルス/デジタル/アナログ入力による計測機能も備えている。

商業施設などの業務用空調機を数多く設置する店舗対応として、制御出力信号を分配する拡張ユニット (接点信号 8 出力) も用意した。1 台の DR コントローラ出力に、それぞれ拡張ユニットを付加することで、最大 32 台の空調機制御に対応できる。また、設置工事用や運用管理用のアプリケーションも用意した。

当社がこれまでに開発した IoT クラウド技術、高信頼広域分散制御技術をベースに構築しており、当社既存の他用途システムなどとの連携も容易に行うことができる。



図 6 動作状況確認・データ抽出用 Web アプリ

3. MADR システムの検証結果

メーカ 2 社の業務用空調機および商業施設利用の熱源機 (空冷 HP モジュールチラー) を用いて MADR システムの検証試験を行った。

DR コントローラからの制御出力は、業務用空調機の場合は、室外機基板に専用外部入力アダプタを用いて入力する。熱源機の場合は、制御用コントローラのデマンド端子に入力する。

業務用空調機・室外機や熱源機の制御用コントローラは屋外設置されることから、屋外設置となる DR コントローラは、容易に LTE-M 通信を受信することができる。検証のため、DR コントローラを屋内設置に変更しても良好に受信し、確実に制御できることを確認した。

業務用空調機では、空調負荷の小さい時など、機器保有の抑制制御運転では抑制機能が動作しない場合もある。DR への活用では、強制サーモ OFF 機能を利用した間欠 ON/OFF モードの有効性を確認した。また、暖房利用時の短時間制御検証であったが、本制御時の室内温度変化は小さく、空調利用環境に影響ないことも確認した。

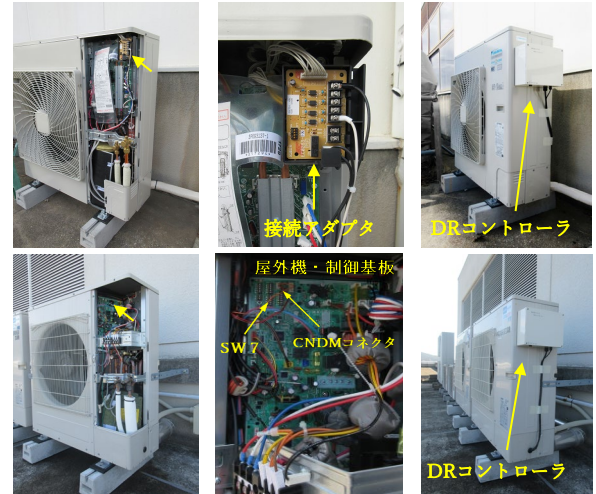


図 7 DR コントローラ設置 (業務用空調機)

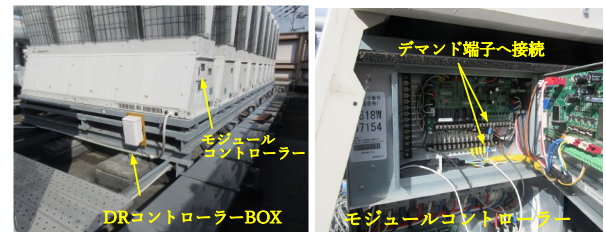
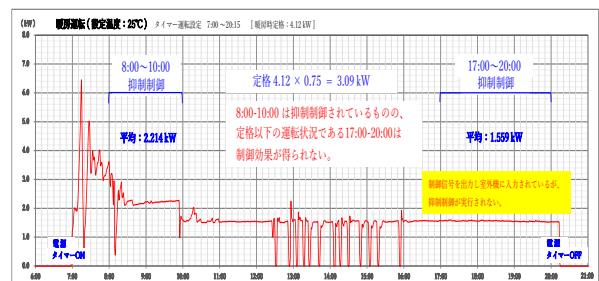
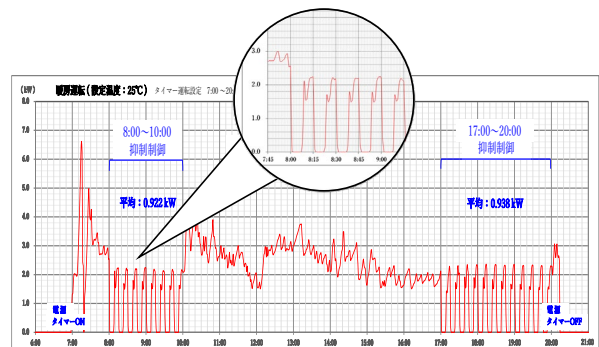


図 8 DR コントローラ設置 (熱源機)



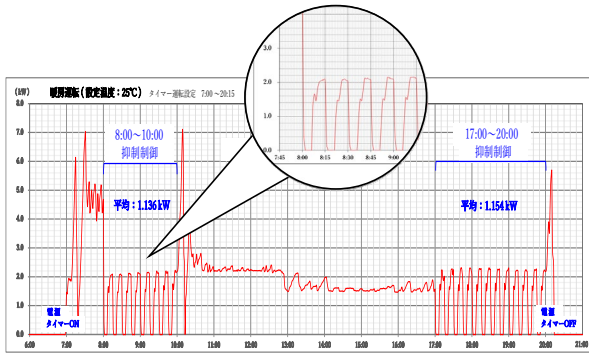
※ 定格25%抑制 [機器機能 利用]

図 9 単純 ON/OFF モード (業務用空調機)



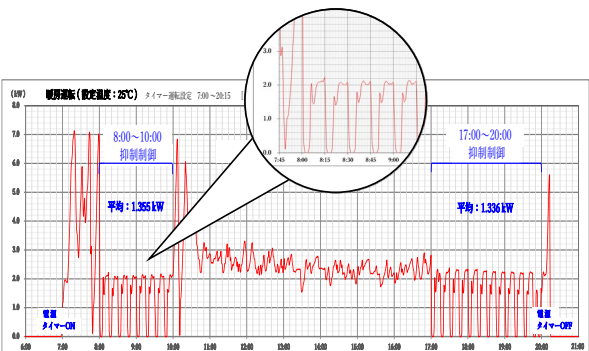
※ 間欠モード 50%抑制 [遠隔設定 利用]

図 10 遠隔設定間欠 ON/OFF モード (業務用空調機)



※ 間欠モード 40%抑制 [遠隔設定 利用]

図 11 遠隔設定間欠 ON/OFF モード (業務用空調機)



※ 間欠モード 30%抑制 [遠隔設定 利用]

図 12 遠隔設定間欠 ON/OFF モード (業務用空調機)

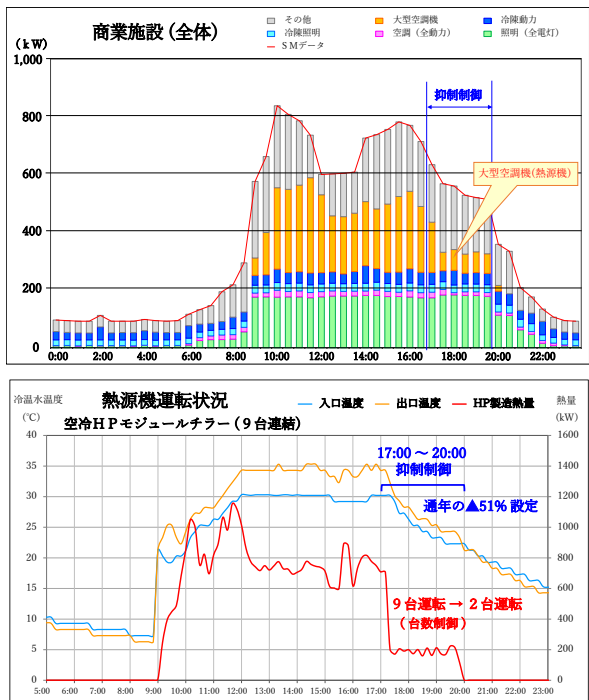


図 13 単純 ON/OFF モード (熱源機)

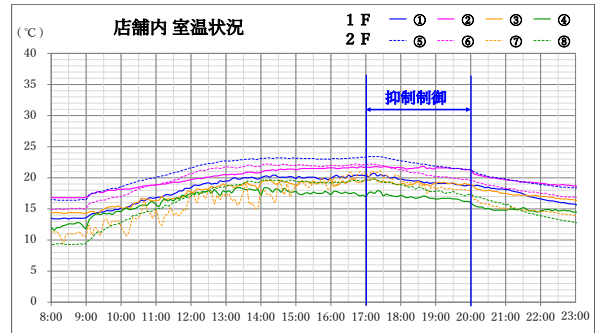


図 14 商業施設 店舗内室温状況

大規模商業施設・空調熱源機停止前 3 時間の抑制制御では、フロア平均で通常より 1~2℃早い温度低下傾向であったものの室温変化は小さく、空調機抑制運転を感じず影響はなかった。

4. まとめ

既存の電子メールによる DR 要請手法を利用することで、1 対 1 の双方向通信を必要とせず、安価で容易に下げ DR 構築を行うことができ、DR リソースの確実な制御に繋がり、契約お客さまの機器操作手間を軽減することができる。また、空調機器を抑制制御しても室温変化は小さく快適性への影響はないことも確認した。

点在する大量な需要家機器を制御する手法として、本技術が有効であることを確認した。

【謝辞】

本研究は、四国電力(株)エネルギーソリューション室殿より委託を受け実施したもので、検証試験など、ご協力いただいた関係各位に深く感謝いたします。

【参考文献】

- 1) 吉田正志:「放送型無線通信を用いた需要家機器活用技術の開発」, 四国電力, 四国電力送配電, 四国総合研究所 研究期報, No117, p21-24 (2022.12)