

## 電力パケット型エネルギーインターネットの新制御技術を開発 ～必要なときに必要なだけ供給可能、実用化の加速に期待～

国立大学法人東海国立大学機構 名古屋大学大学院工学研究科の東 俊一 教授、岩田 拓海 博士後期課程学生らのグループは、電力パケット型<sup>注1)</sup> エネルギーインターネット<sup>注2)</sup> のもとで動作するシステム制御技術の開発に成功しました。

近年、エネルギー流通のためのインターネットである「エネルギーインターネット」という新しい技術が注目を集めています。しかし、電力パケット型と呼ばれる方式のエネルギーインターネットに、モータ駆動系などの制御システムを端末として接続するためには、制御システム側に蓄電池やキャパシタといった電力平滑化のためのデバイスを備える必要がありました。しかし、そのような追加デバイスはシステムを複雑にするため実用上望ましくはありません。本研究では、必要なときに必要な電力パケットを調達して制御する「最大休止制御」という方法を開発しました。これにより、電力平滑化（時間的に不連続なエネルギー供給を連続化する）のためのデバイスを使うことなく制御をすることが可能になりました。この成果により、電力パケット型のエネルギーインターネットの実用化が加速することが期待されます。

本研究成果は、2022年7月18日付「International Journal of Robust and Nonlinear Control」のオンライン版に掲載されました。

本研究は、2021年度から始まったJST 創発的研究支援事業 JPMJFR2123 および科学研究費基盤研究 (A) 21H04558 の支援のもとで行われたものです。

## 【ポイント】

- ・近年、エネルギーに対してもインターネットのような流通システムを作って、エネルギー供給を行う「エネルギーインターネット」という新しいコンセプトが注目を集めている。
- ・エネルギーインターネットの一つの方式として電力パケット型があるが、従来の制御技術を適用するためには、制御システム側に蓄電池やキャパシタといった電力平滑化のためのデバイスを備える必要であった。
- ・本研究では、複数のアクチュエータを有するシステムにおいて、必要なときに必要な電力パケットを調達して制御する「最大休止制御」方法を開発した。これにより、電力平滑化のためのデバイスを使うことなく制御をすることが可能になった。

## 【研究背景と内容】

近年、エネルギー流通のためのインターネットである「エネルギーインターネット」という新しい技術が注目を集めています（[1] [2]）。エネルギーインターネットにはいくつかの方式が提案されていますが、通常のインターネット（TCP/IP）に最も近いものが「電力パケット型」（[3] [4]など）と呼ばれるものです。これは「電力パケット」と呼ばれるパルス状の電力を流通の単位とし、端末からのリクエストに応じて、サーバーから電力パケットが供給されるというものです。これを実現するためには、高速、大容量、低損失のスイッチング素子が必要になりますが、近年のSiCやGaNなどのパワー半導体の発展により、その実現が視野に入ってきています。

エネルギーインターネットにつながる端末の一つとして、モータ駆動系などの制御システムが期待されていますが、従来の制御技術を直接使うことはできないという問題が生じます。図1は、電力パケット型のエネルギーインターネットに制御システムが端末として接続された様子を表しています。制御システムは、そこに備えられたアクチュエータを駆動するために電力が必要になると、ネットワークに対して電力パケットの供給をリクエストします。ネットワークはそのリクエストに応じてパケットを生成して供給します。このような状況で、従来の制御技術を適用するためには、制御システム側に蓄電池やキャパシタといった電力平滑化のためのデバイスを備える必要があります。しかし、そのような追加デバイスはシステムを複雑にするため実用上望ましくありません。そこで、電力平滑化のためのデバイスを利用しない制御技術への期待が高まっていました。一方、電力平滑化のためのデバイスを利用しない場合には、電力パケットが到着している時間帯でしかアクチュエータを動作させることができないため、制御のアルゴリズムに、アクチュエータを動作させるべき時刻を同定し、それに合わせて電力パケットを適切に調達する、という機能が必要でした。

そこで本研究では、電力パケット型のエネルギーインターネットにおける制御システムの運用を想定し、「最大休止制御」という、必要なときに必要な電力パケットを調達して制御する方法を開発しました。これまでに、アクチュエータが単一の場合にそれを実現する制御方法（スパース制御）は知られていましたが、アクチュエータが複数個の場合には必ずしも良い性能が得られませんでした（図2左）。本研究では「必要なと

きに必要な電力パケットを調達して制御する」ことは、複数個のアクチュエータを「同時に」駆動する時間帯を最小化することと捉え、その制御問題をブロックスパースな入力ベクトル<sup>注3)</sup>を構成する問題に定式化しました。この問題を解いて得た入力ベクトルを制御系に加えることで、アクチュエータを同時駆動する時間帯を最小化しながら、システムの出力を目標値に到達させる制御が実現できることを明らかにしました(図2右)。

[1] Building the energy internet, The Economist, Mar 13th (2004)

[2] K. Zhou, S. Yang, and Z. Shao: Energy internet: the business perspective, Applied Energy, 178-15, 212/222 (2016)

[3] J. Toyoda and H. Saitoh: Proposal of an open-electric-energy network (OEEN) to realize cooperative operations of IOU and IPP, International Conference on Energy Management and Power Delivery, 218/222 (1998)

[4] 引原：電力のパケット化とルーティング技術, 情報処理, 51-8, 943/950 (2010)

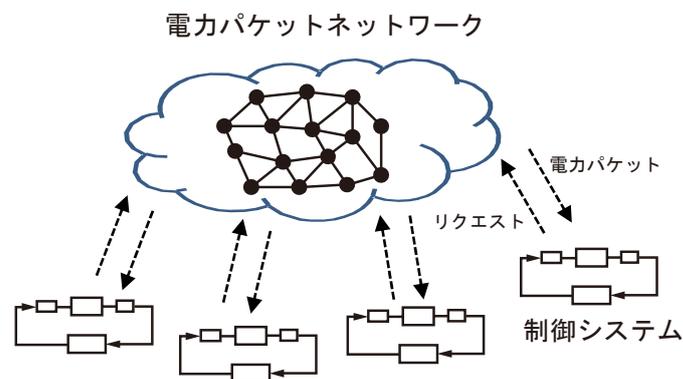


図1: 電力パケット型エネルギーインターネットに制御システムが端末として接続されている様子。制御システムに備えられたアクチュエータを駆動するために電力が必要になると、制御システムはネットワークに対して電力パケットの供給をリクエストする。ネットワークはそのリクエストに応じてパケットを生成して供給する。

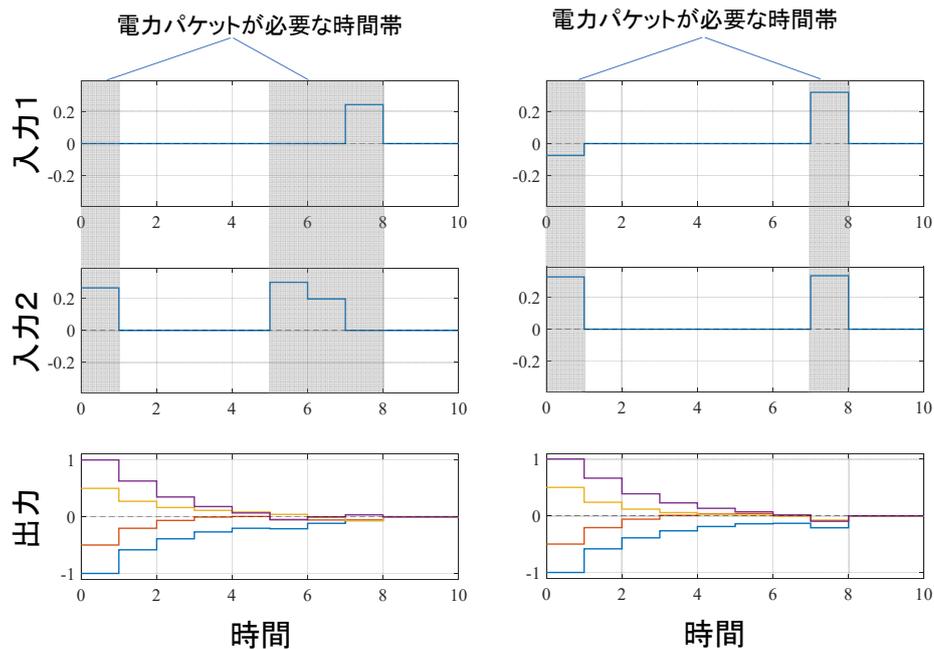


図 2：従来法（スパース制御）（左図）と今回の方法（右図）を適用したときの制御入力と状態の応答の例。従来法の場合、2つのアクチュエータが同時に休止する時間帯が短い（電力パケットが必要な時間帯が長い）が、開発した方法では、同時に休止する時間帯が長い。

### 【成果の意義】

電力パケット型のエネルギーインターネットでは、その原理からエネルギー供給が間欠的になります。したがって、端末側で連続的なエネルギーを得るためには、端末側に蓄電池やキャパシタを備え、そこに充電してからエネルギーを取り出す必要がありました。一方、本研究では、間欠的なエネルギー供給を前提とした制御系の構成法を与えているため、蓄電池やキャパシタが不要になるという利点があり、電力パケット型のエネルギーインターネットの実用化を加速する成果になると期待されます。

### 【用語説明】

注1) 電力パケット型：

情報通信におけるTCP/IPでは、情報のある大きさに分割し、そこに宛先などが記されたタグを付加して、パケットと呼ばれる情報伝送の単位を作る。電力パケット型は、これと同様の考え方で、ある時間幅の電力パルスに情報タグを付加した「電力パケット」と呼ばれる単位を作り、ネットワーク上で流通させる。

注2) エネルギーインターネット：

情報のインターネットに着想を得たエネルギー流通のためのインターネットのこと。需要家と供給家の組み合わせがこれまで以上に自由なり、さまざまなサービスが

展開されることが期待される。

注3) ブロックスパースな入力ベクトル：

非零要素が少なく、また、非零要素があるとすれば固まって出現するベクトルのこと。

**【論文情報】**

雑誌名：International Journal of Robust and Nonlinear Control

論文タイトル：Maximum Turn-off Control for Discrete-time Linear Systems

著者：Takumi Iwata, Shun-ichi Azuma, Ryo Ariizumi, Toru Asai

DOI：10.1002/rnc.6283

URL：<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/rnc.6283>