

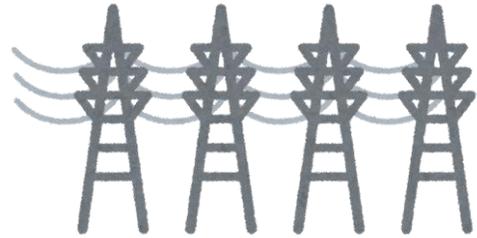
Simscape Electricalを用いた 直流マイクログリッドの解析

MATLAB EXPO JP 2021
Day 5 パワーエレクトロニクス
@オンライン
June 11, 2021

喜久里 浩之 (KIKUSATO, Hiroshi)

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
再生可能エネルギー研究センター

電力シミュレーションはゼロエミ化・電化／ハイブリッド化の検証に必須技術 



電力系統／マイクログリッド／分散電源



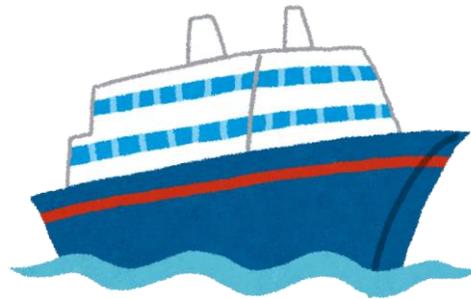
空港／航空機／分散電源



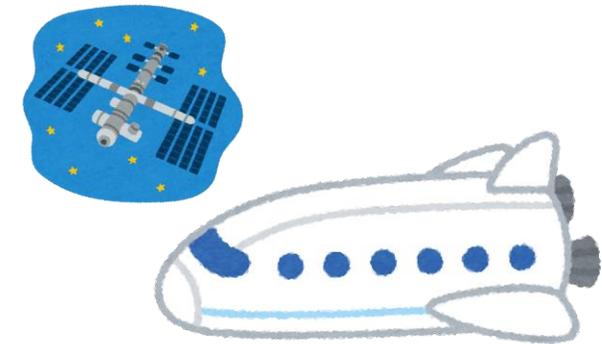
鉱山／重機／分散電源



充電ステーション／自動車／分散電源



港／船舶／分散電源



宇宙ステーション／宇宙船／分散電源

目次

- 研究所・自己紹介

- 直流マイクログリッドの解析（古河電工様との共同研究）
 - 最近の動向
 - 直流マイクログリッド（DCMG）とは？
 - Simscape Electricalを用いたDCMG解析の事例紹介
 - 過渡モデルを用いた平常時の電力シミュレーション
 - 定常モデルを用いた平常時の電力シミュレーション
 - 過渡モデルを用いた事故時の電力シミュレーション

- まとめ

国立研究開発法人 産業技術総合研究所（産総研， AIST）

- 「特定」国立研究開発法人の1つ

- 2001年に経産省傘下の16研究所が合併して設立

- 2000人以上の研究者， 7つの研究領域



AIST's research base and priority research theme



福島再生可能エネルギー研究所 (FREYA) ⇒ [Go to Appendix for Detail!](#)

- 2014年 福島県郡山市に設立
 - 国際的な再生可能エネルギー研究・開発の促進
 - 東日本大震災の復興支援

Smart System
Research Facility
(FREYA-G)

Hydrogen Lab

300kW WT

500kW PV

Power System Lab

- 200人以上の研究者, 9つの研究チーム



Energy
Network



Hydrogen
Energy Carrier



H₂ and Heat
Utilization



Wind
Power



Photovoltaic
Power



PV
System



PV
Standard



Geothermal
Energy



Shallow
Geothermal

自己紹介：喜久里 浩之 (KIKUSATO, Hiroshi)

- 2018年3月：大学院修了, 博士 (工学)
- 2018年4月：産総研入所
 - 所属
 - 再生可能エネルギー研究センター@FREA
 - エネルギーネットワークチーム・研究員
 - 主な研究内容
 - 電力システムにおける Hardware-in-the-loop (HIL) simulation
 - **マイクログリッド** (直流, 島嶼, 水電解槽)
 - 分散電源制御 (スマートインバータ, 模擬慣性機能)
 - 配電系統, エネルギーマネジメント
 - [Google Scholar](#), [Research Gate](#)

直流マイクログリッド（DCMG）の解析

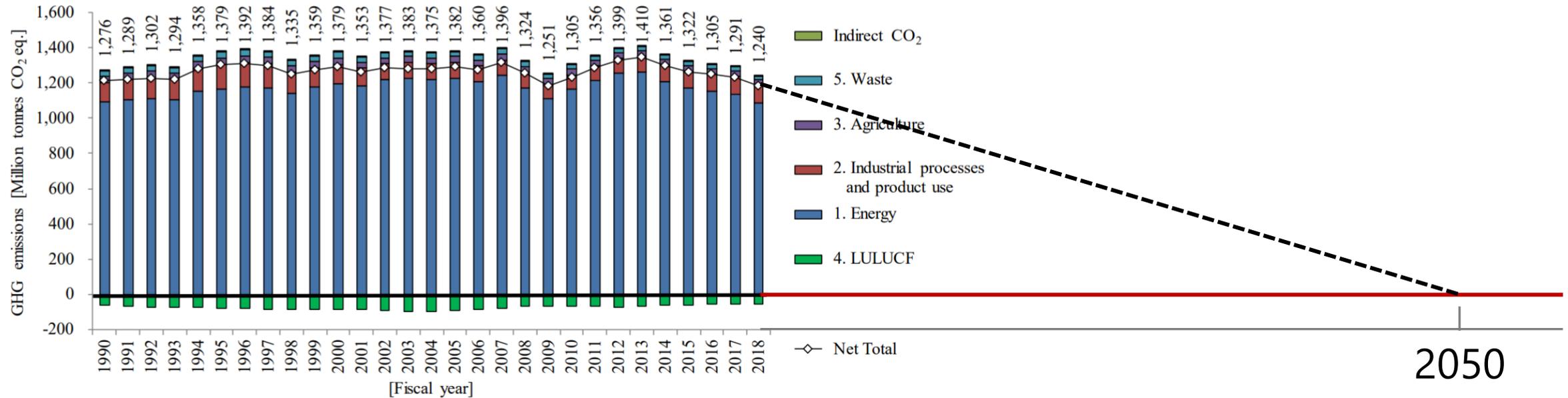
（2019年に開始した古河電工様との共同研究）

最近の動向

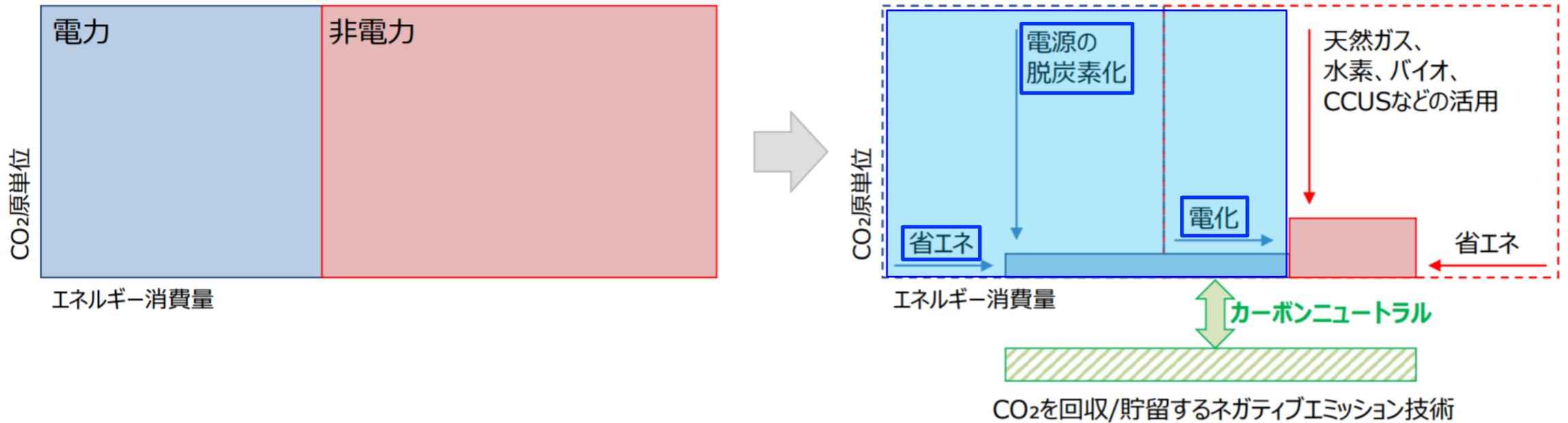
「2050年までのカーボンニュートラル」
を宣言（2020年10月26日）



エネルギー分野に求められる大幅な温室効果ガス排出量の削減



電力分野は重要な役割を担っている



分散電源がじゃんじゃん導入され，電化もどんどん進む

産業界からの強い関心と期待を感じる今日この頃...

日刊自動車新聞

(昭和22年10月23日第三種郵便物認可) 日刊 日曜祝日休刊

第24972号

水素社会へ動き出したトヨタ

普及してこそ
環境技術

トヨタのCTO(最高技術責任者)を務める前田昌彦執行役員は26日、福島県郡山市の福島再生可能エネルギー研究所(FREA)を視察し、古谷博秀センター長をはじめ、研究者との意見交換を行



FREAを視察するトヨタの前田CTO

大型車メーカーや研究機関と協力

を普及させるために、研究所と交流する「トヨタのエンジン」は増やした方がよい」との考えを示した。
トヨタは東日本大震災から10年間、東北地区を「国内第3の生産拠点」として産業復興に取り組んできた。10年の節目を迎えた今年、「復興の10年から成長への10年につながる道筋(前田CTO)を立てるため、福島県浪江町の水素製造施設「福島水素エネルギー研究フィールド(日H2F)」のグリーン水素を活用した実証を真内で展開する方針を決めた。この実証を導入するに当たり、24日に日野といすゞの3社で合意した商用事業における協業の枠組みを活用して燃料電池(FC)トラックを導入する。
水素実証は浪江町をはじめ福島市や郡山市と県内の30万人都市で行い、人口30万人規模を「原単位」とすることで全国の都市で水素社会が実現できるようにする。豊田章

福島での実証実験に向けて

トヨタ自動車は、福島県内での水素社会実証に向けて動き出した。県内で製造する再生可能エネルギー由来の水素などを用いた社会実証に向け、日野自動車といすゞ自動車との協業を決めたほか、県内の再生エネルギー研究所との技術交流

を進める。カーボンニュートラルの実現を巡っては、政府の「グリーン成長戦略」において水素の活用が重点分野の一つに挙げられており、トヨタは大型車メーカーや研究機関との連携を強めて水素普及を目指す。



発行所
日刊自動車新聞社
東京都港区芝大門1丁目10番11号
購読料 1カ月5348円+税
電話 東京(03)5777-2351代表
©日刊自動車新聞社2021

3月27日
(土曜日)

夜間も鮮明!
走行中の車線変更も楽々
後方死角を無くす
安全運転の必需品
「リアウエイモニター」
http://www.nvt.co.jp/
開発元・株式会社日本ヴェテック

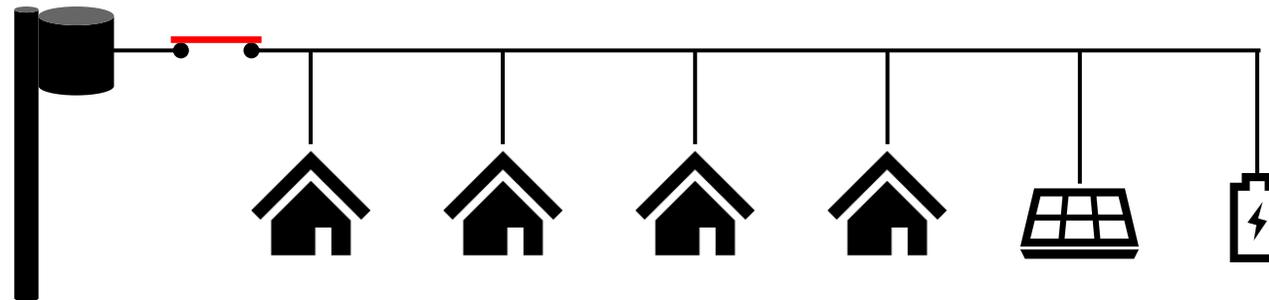
無駄なく「つくる・運ぶ」

トヨタ自動車 前田CTO ご来訪 (2021年3月26日)

Source: 2021年3月27日 日刊自動車新聞一面

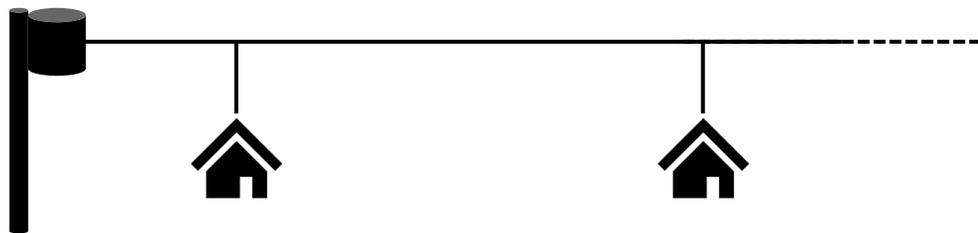
マイクログリッドとは？

- A group of interconnected loads and distributed energy resources with clearly defined electrical boundaries that acts as a single controllable entity with respect to the grid and can connect and disconnect from the grid to enable it to operate in both grid-connected or island modes.
(Source: IEEE 2030.7-2017)
- 電力系統と明確な境界を持つ負荷・分散電源群で，電力系統への接続・切断操作が可能

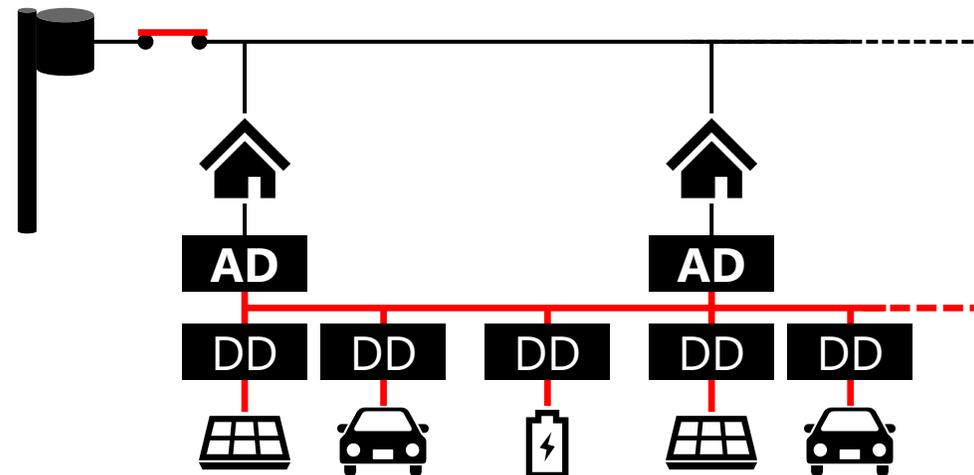


分散電源導入時の直流マイクログリッド化による利点と課題

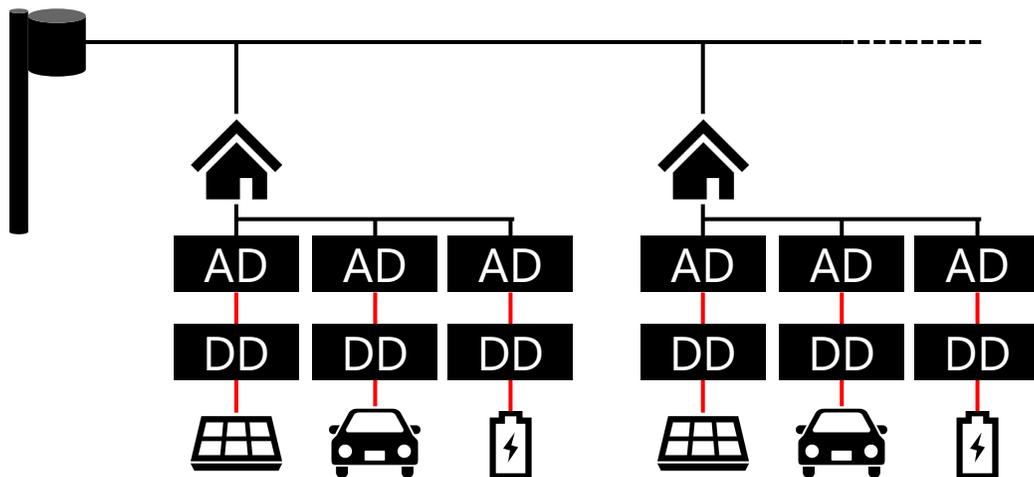
■ 導入前



■ 導入後 (DCMG化)

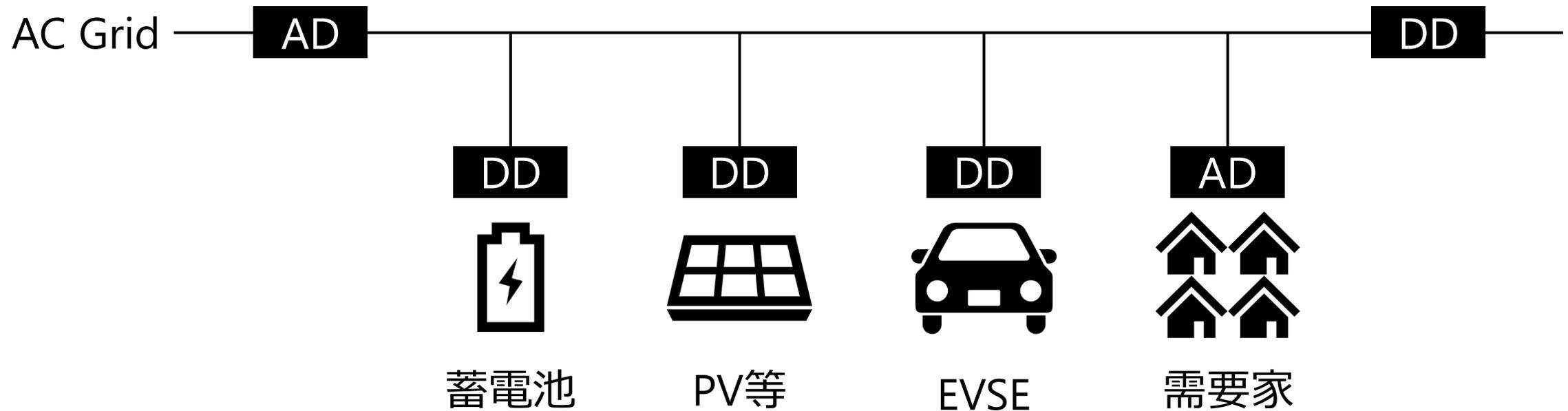


■ 導入後 (従来)



- 災害時レジリエンスの向上 (MG化)
- 蓄電池共有によるコスト減 (MG化)
- 変換器減による損失/コスト/スペース減 (DC化)
- **直流系の電圧制御・運用計画が必要**

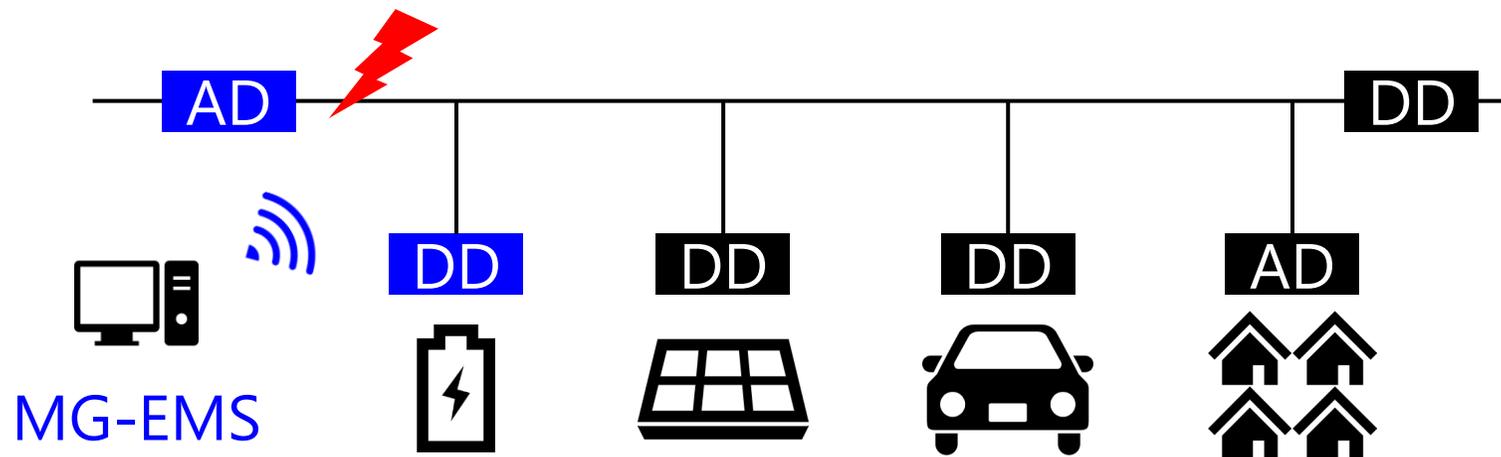
住宅エリアを想定した直流マイクログリッドの構成例



負荷と分散電源で構成され、変換器を介して相互接続

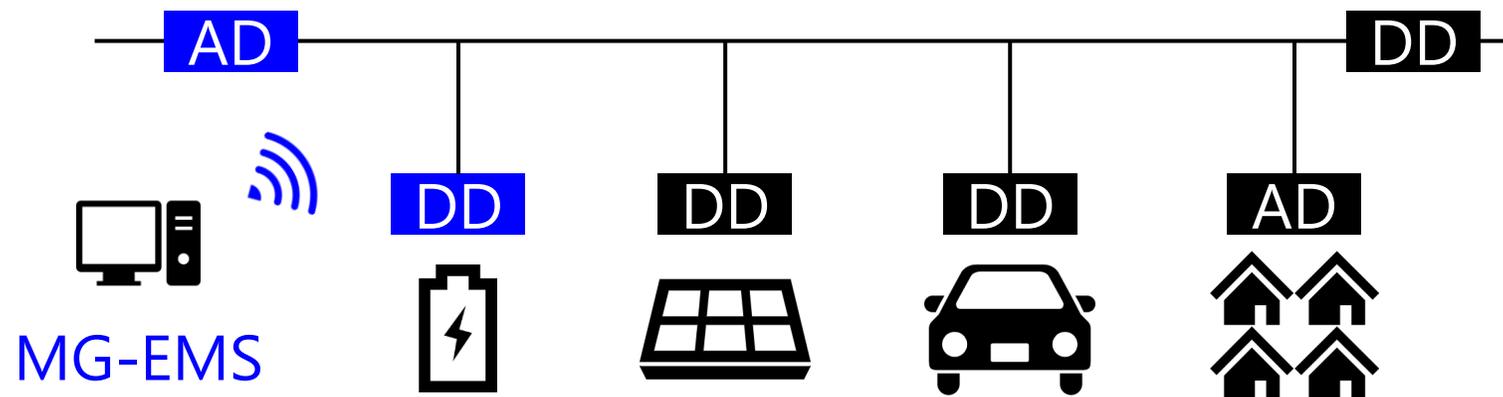
電力シミュレーションによる直流マイクログリッドの検証

	平常時	事故時
検証対象	変換器制御	保護システム
今回の検証項目	一次・二次電圧・電流制御	事故検出, 区間判定
検証に使用するモデル (後述)	過渡モデル, 定常モデル	過渡モデル



平常時の変換器制御

- 一次制御（自律制御）
 - 電圧制御型と電流制御型に分けられる
 - 電圧制御型（ここではAC連系，蓄電池）はMG内の電圧を適正範囲内に維持しながら電流制御の残りを帳尻合わせ
- 二次制御（集中制御）
 - 主な目的はSoCを考慮した（コスト，自給率等）最適運用計画の反映
 - EMSからの指令で電圧制御パラメタ（負荷分担比等）を定期的に更新



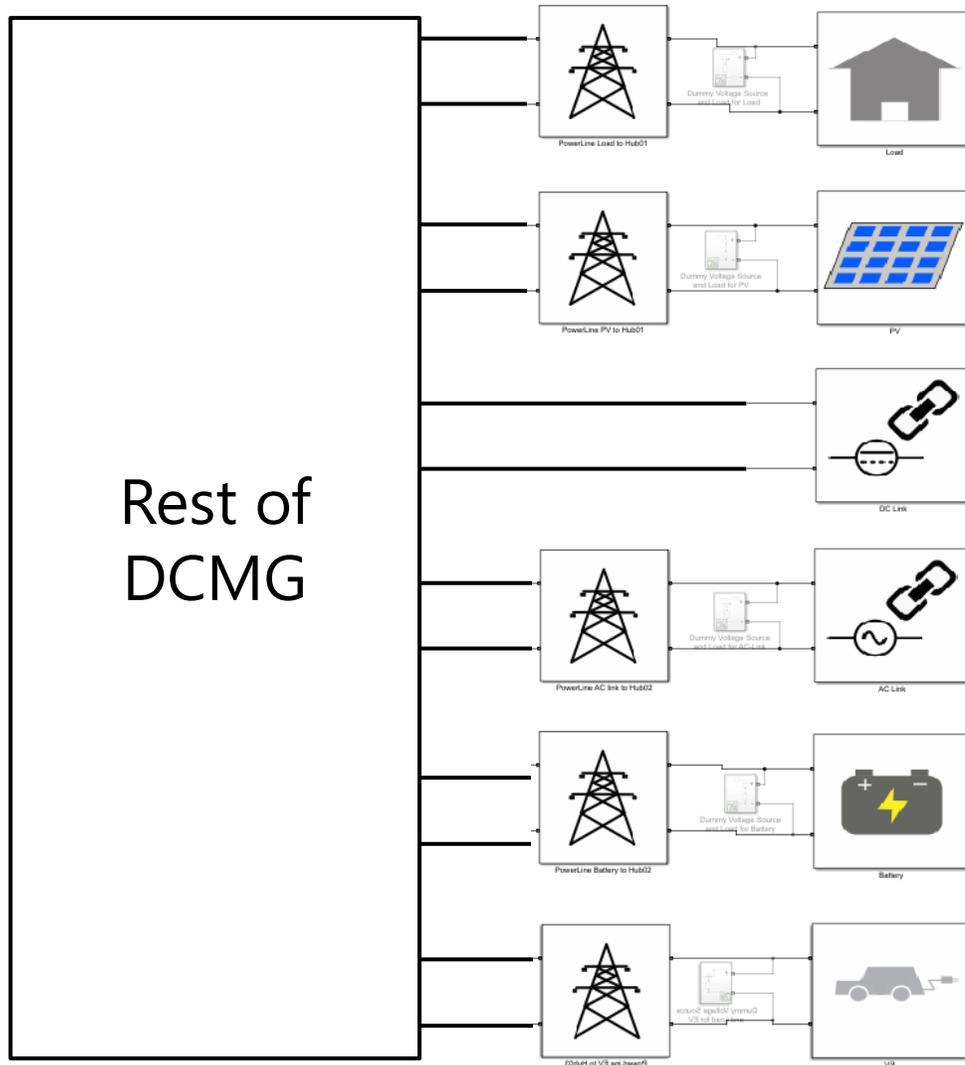
2つの電力シミュレーションモデル

	過渡モデル	定常モデル
目的	一次制御（自律制御） の安定性検証	二次制御（集中制御） の効果検証
ポイント	単体ではなくシステム全体 の安定性を検証	最適運用計画を 電圧制御面から検証
時間 (刻み)	～秒 (ns～μsオーダー)	時間～日 (ms～sオーダー)
モデルの 特徴	<ul style="list-style-type: none"> 変換器は半導体素子モデルを実装 L, Cの影響を受ける 	<ul style="list-style-type: none"> 長期計算のために過渡モデルを簡略化（変換器数も増やせる） 変換器は電圧・電流源モデルで実装 直流だとL, Cの影響をほぼ無視できる

過渡モデルを用いた 平常時の電力シミュレーション

様々な変換器モデルで構成される過渡モデルをSimulinkに実装

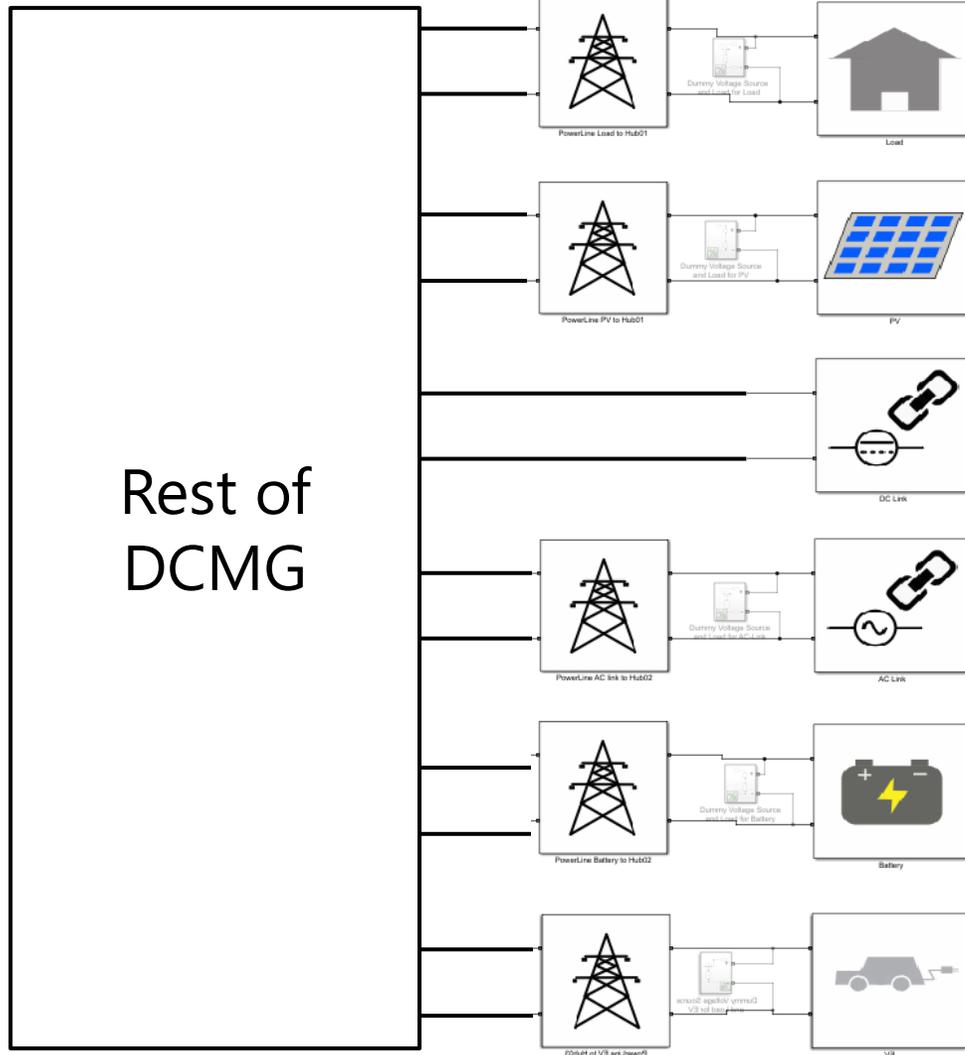
各変換器容量：数100kW



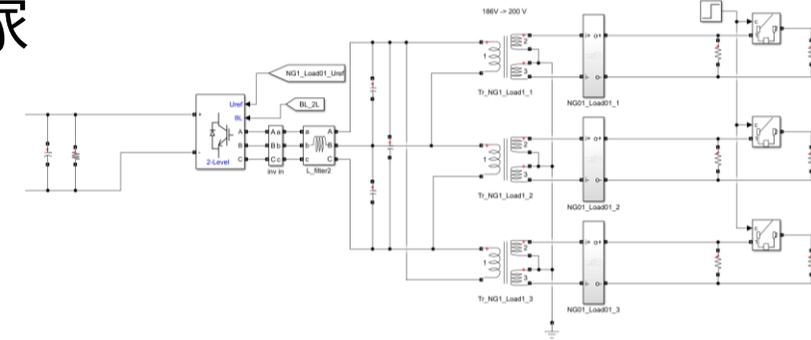
	変換器	制御
需要家	AC/DC	リソース側/電圧
PV	DC/DC	リソース側/MPPT
DC連系	絶縁型 DC/DC	リソース側/電流
AC連系	AC/DC	MG側/電圧
蓄電池	DC/DC	MG側/電圧
EV	絶縁型 DC/DC	リソース側/電流

様々な変換器モデルで構成される過渡モデルをSimulinkに実装

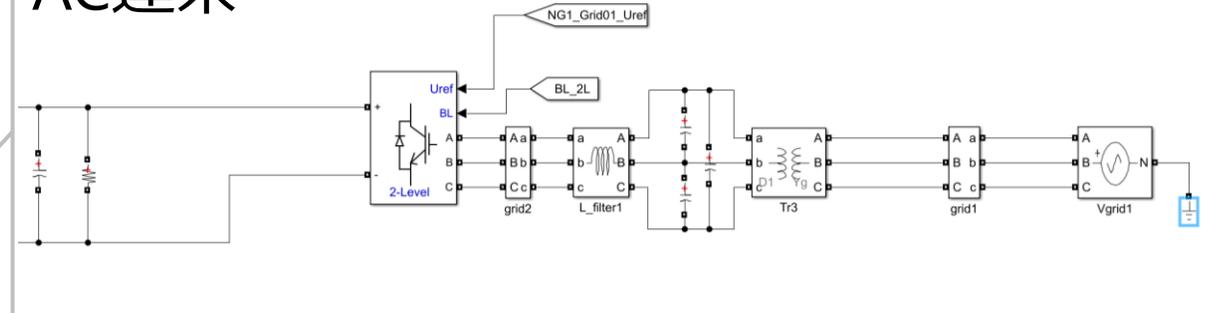
各変換器容量：数100kW



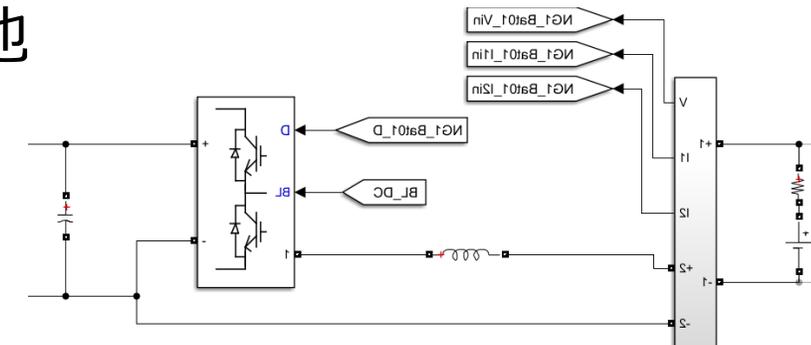
需要家



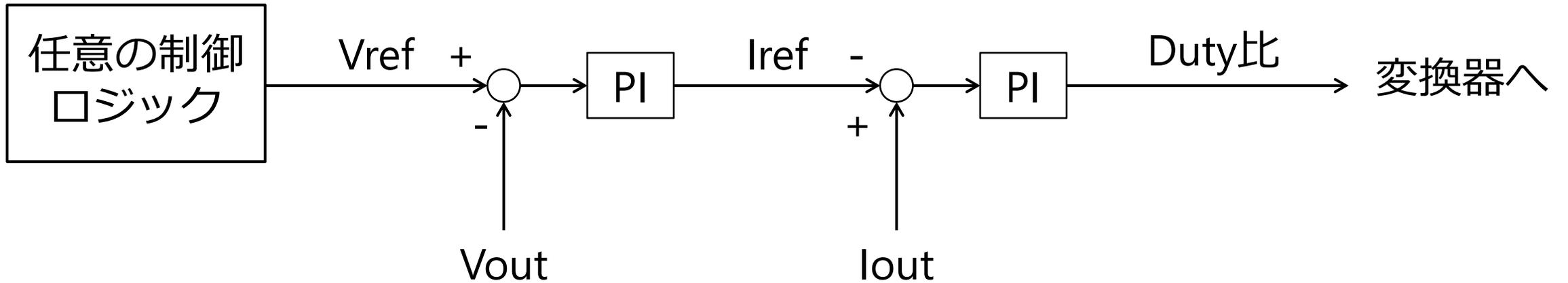
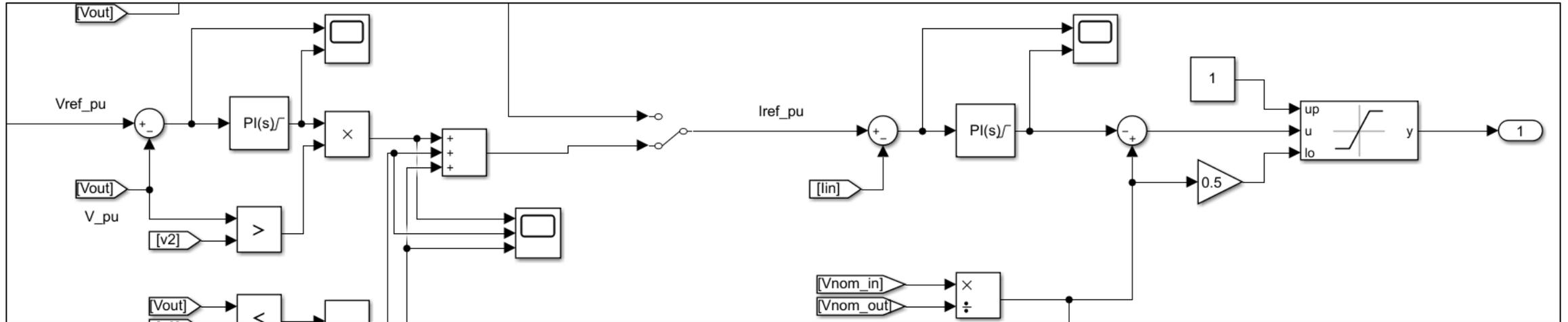
AC連系



蓄電池

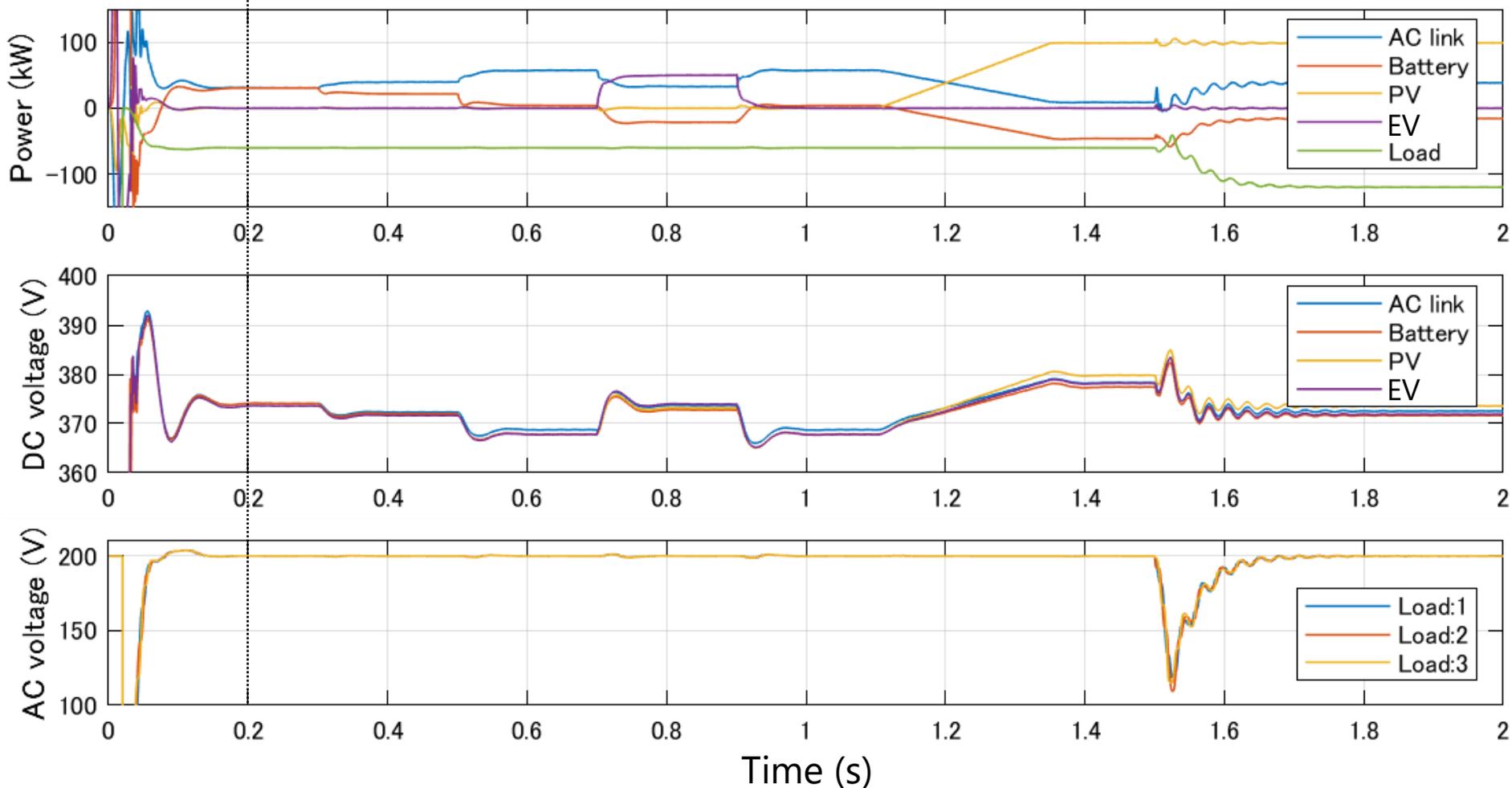


変換器コントローラのSimulinkモデルと概略図 (例：蓄電池の電圧制御)



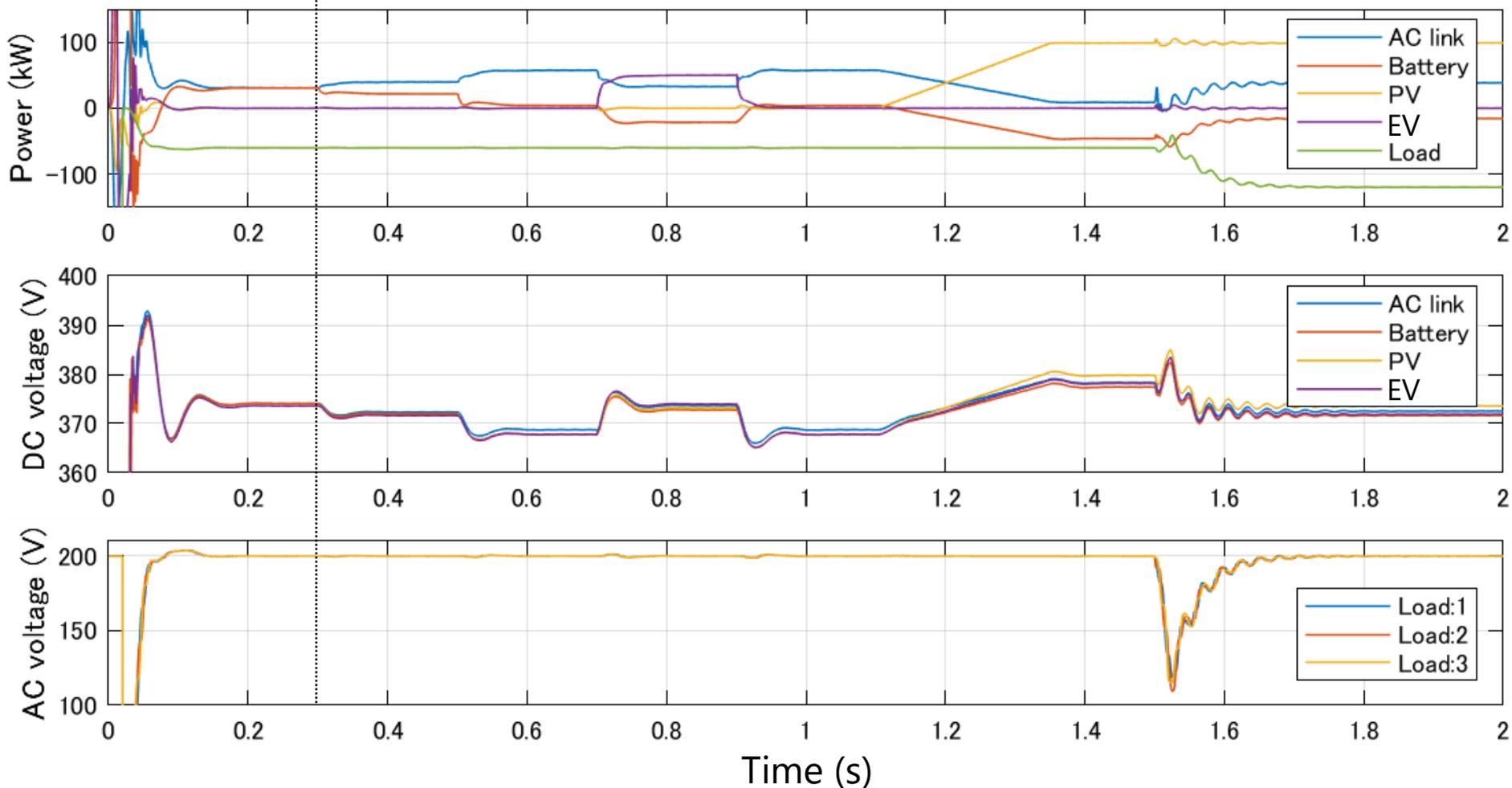
シミュレーション結果例（DCMG構成時の各変換器制御と安定性の確認）

- シミュレーション安定化
- 蓄電池，AC連系から負荷に同量の電力供給



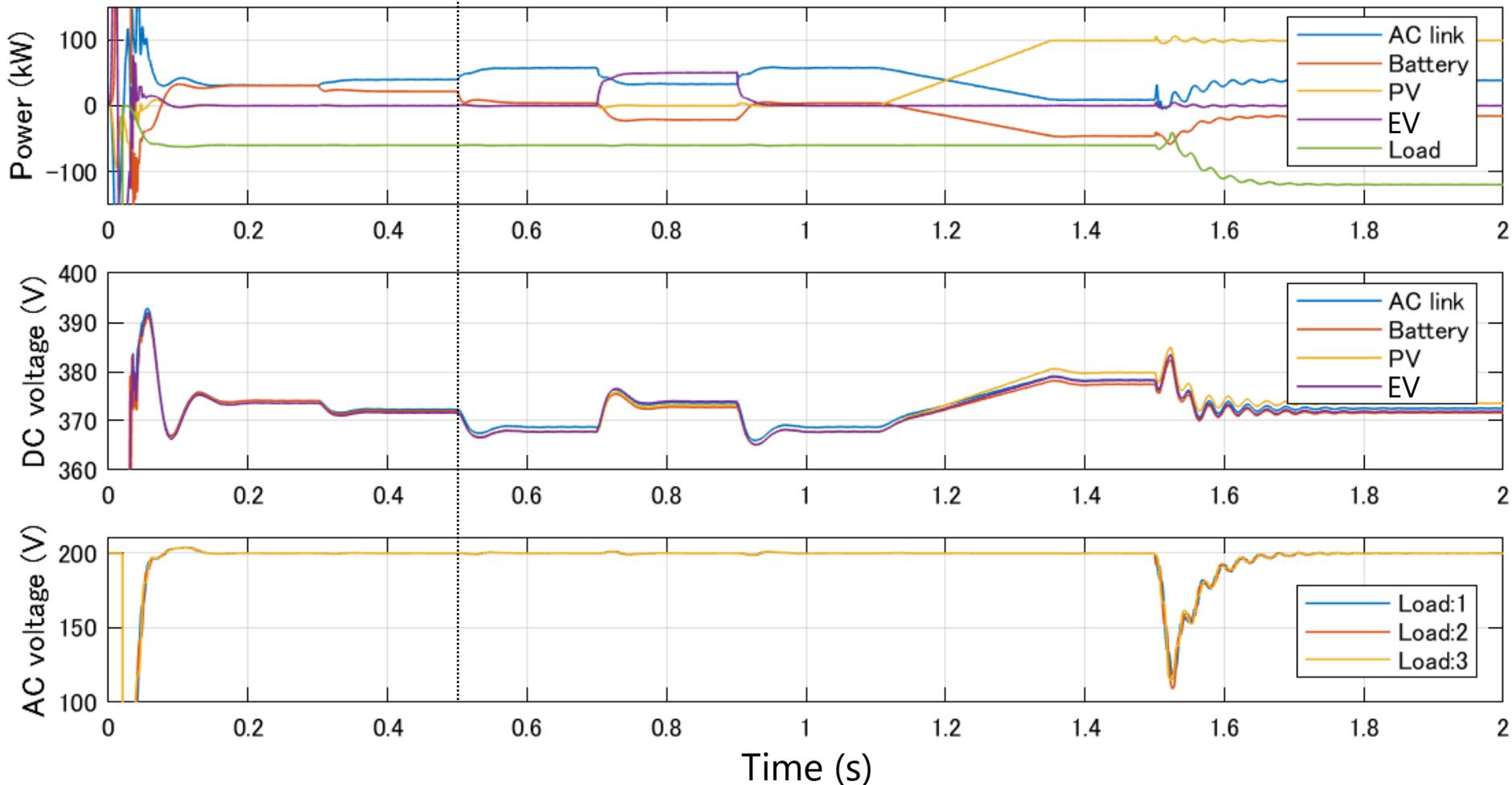
シミュレーション結果例（DCMG構成時の各変換器制御と安定性の確認）

- 蓄電池の負荷分担パラメタ変更（その1）
- 蓄電池出力減少，AC連系出力増加
- DC電圧低下



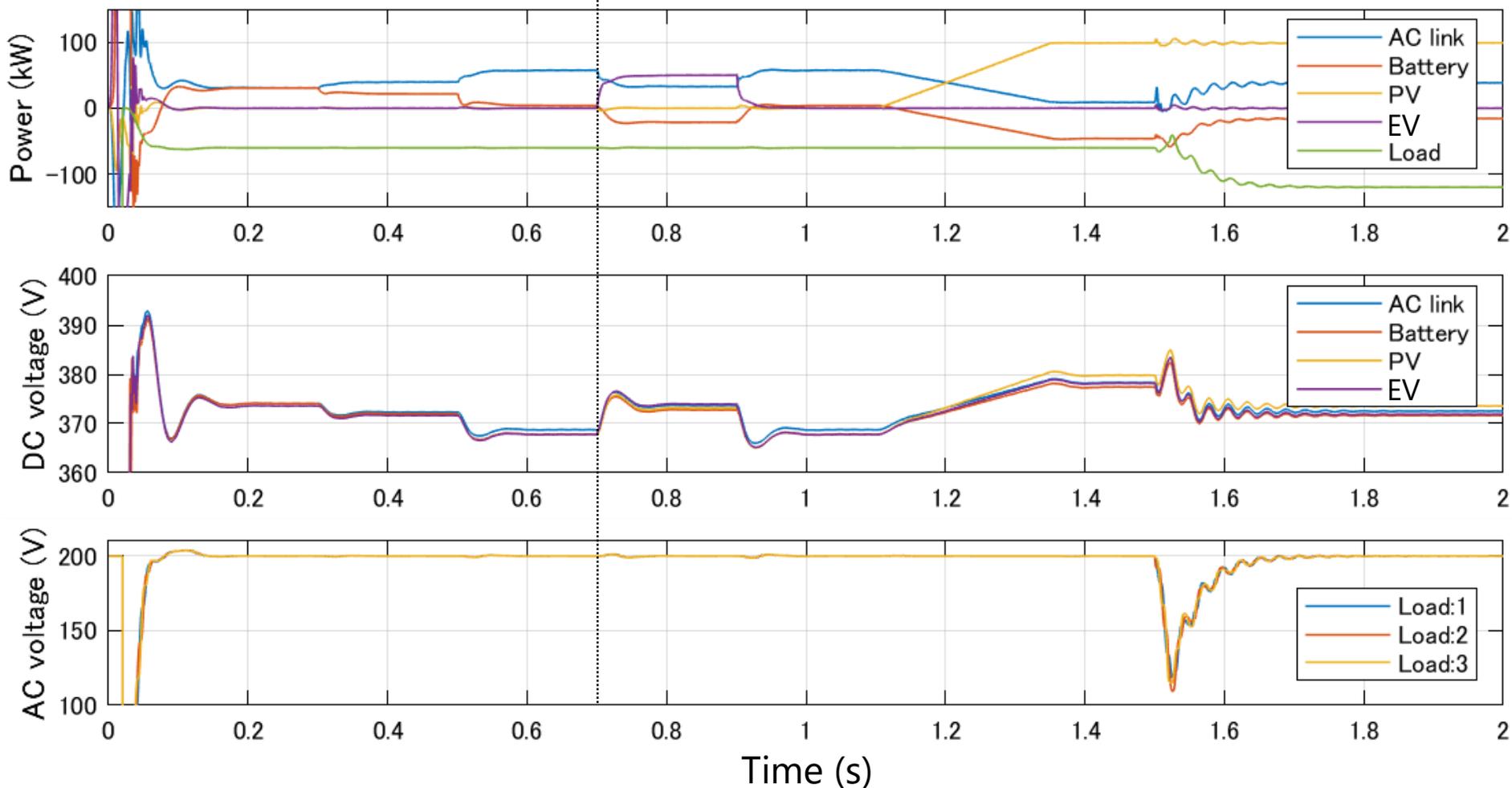
シミュレーション結果例 (DCMG構成時の各変換器制御と安定性の確認)

- 蓄電池の負荷分担パラメタ変更 (その2)
- 蓄電池出力減少, AC連系出力増加
- DC電圧低下



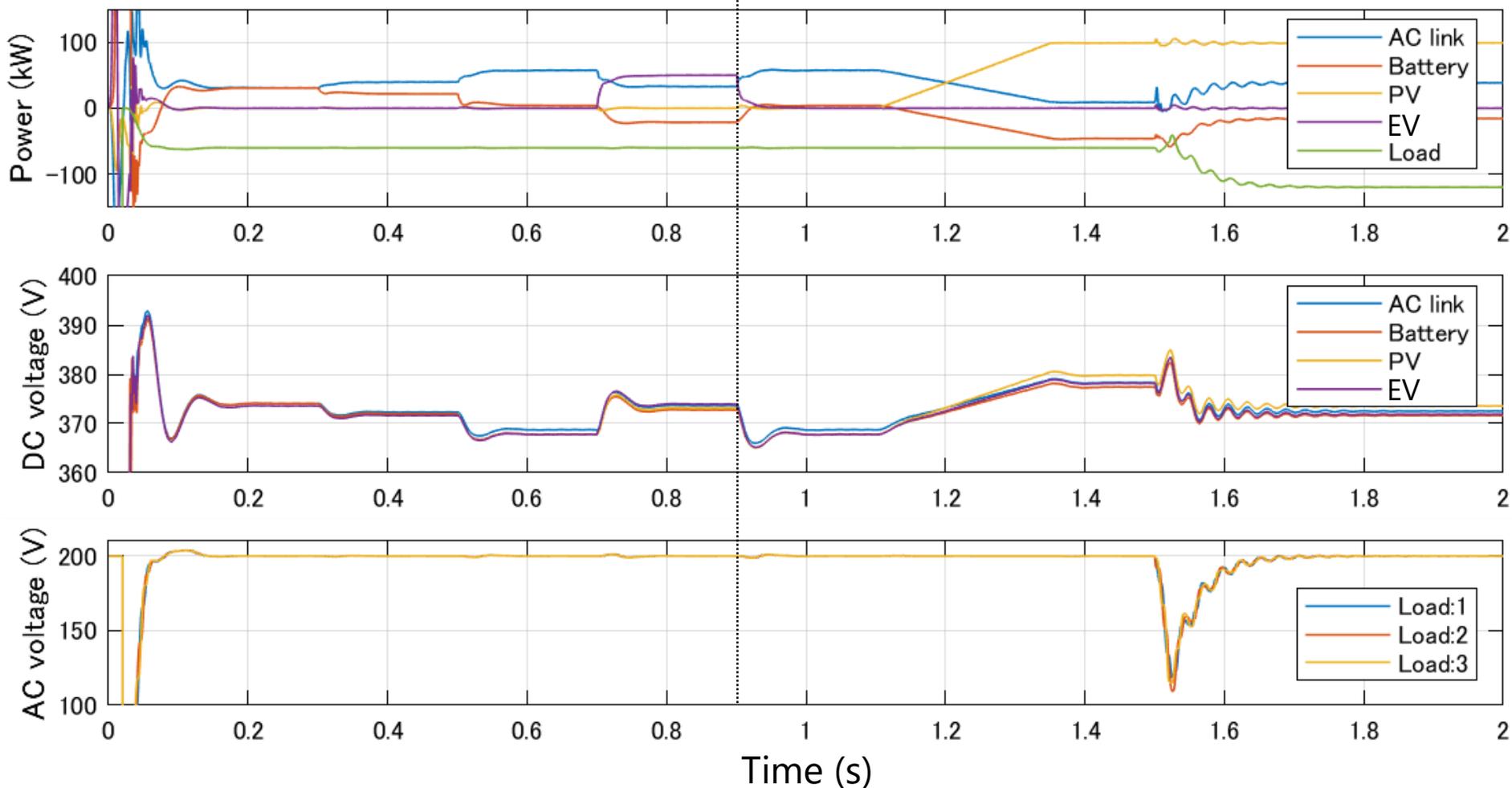
シミュレーション結果例 (DCMG構成時の各変換器制御と安定性の確認)

- **EV**放電開始
- 蓄電池・AC連系出力減少
- DC電圧上昇



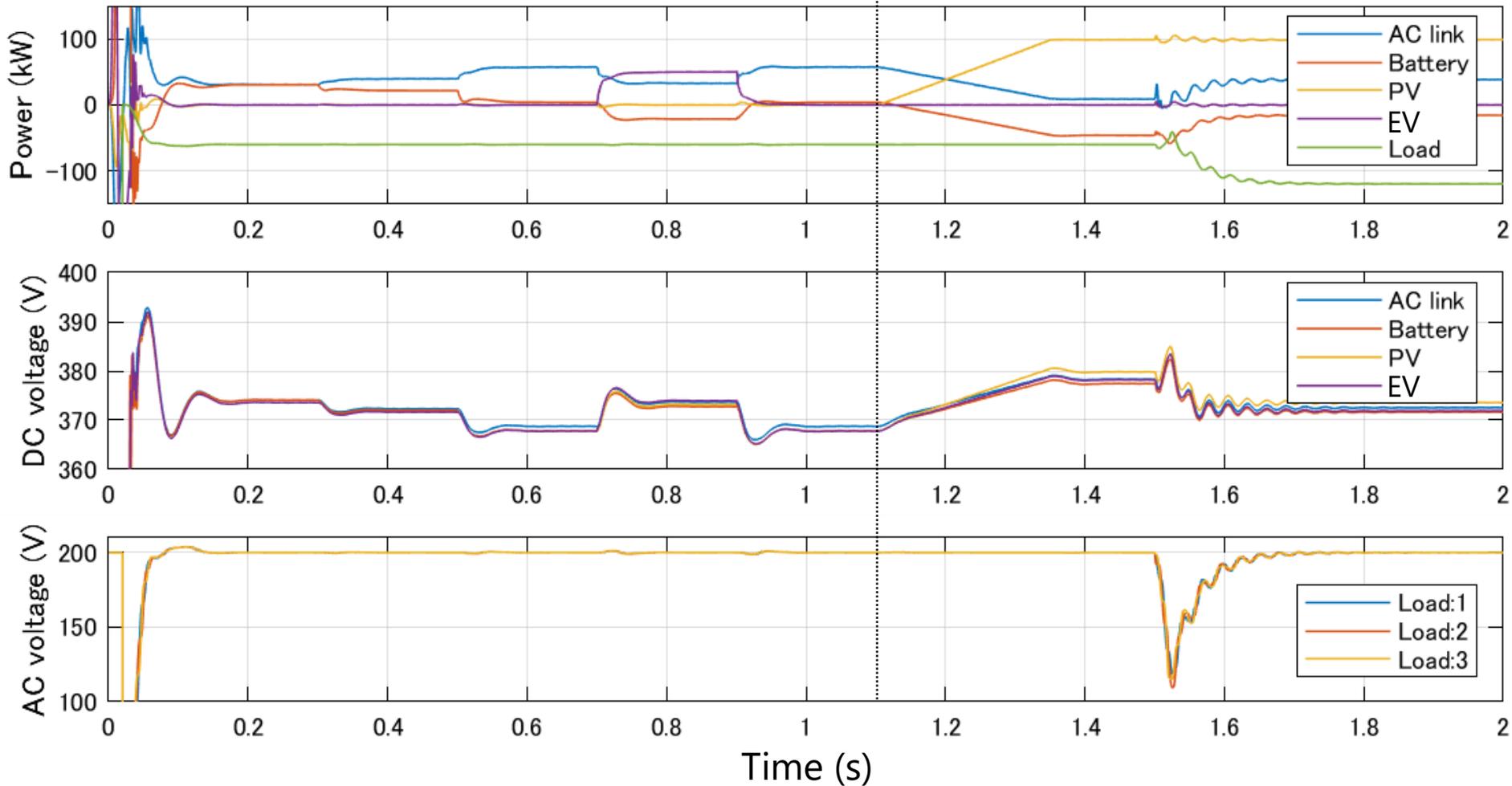
シミュレーション結果例 (DCMG構成時の各変換器制御と安定性の確認)

- EV放電停止
- 蓄電池・AC連系出力増加
- DC電圧低下



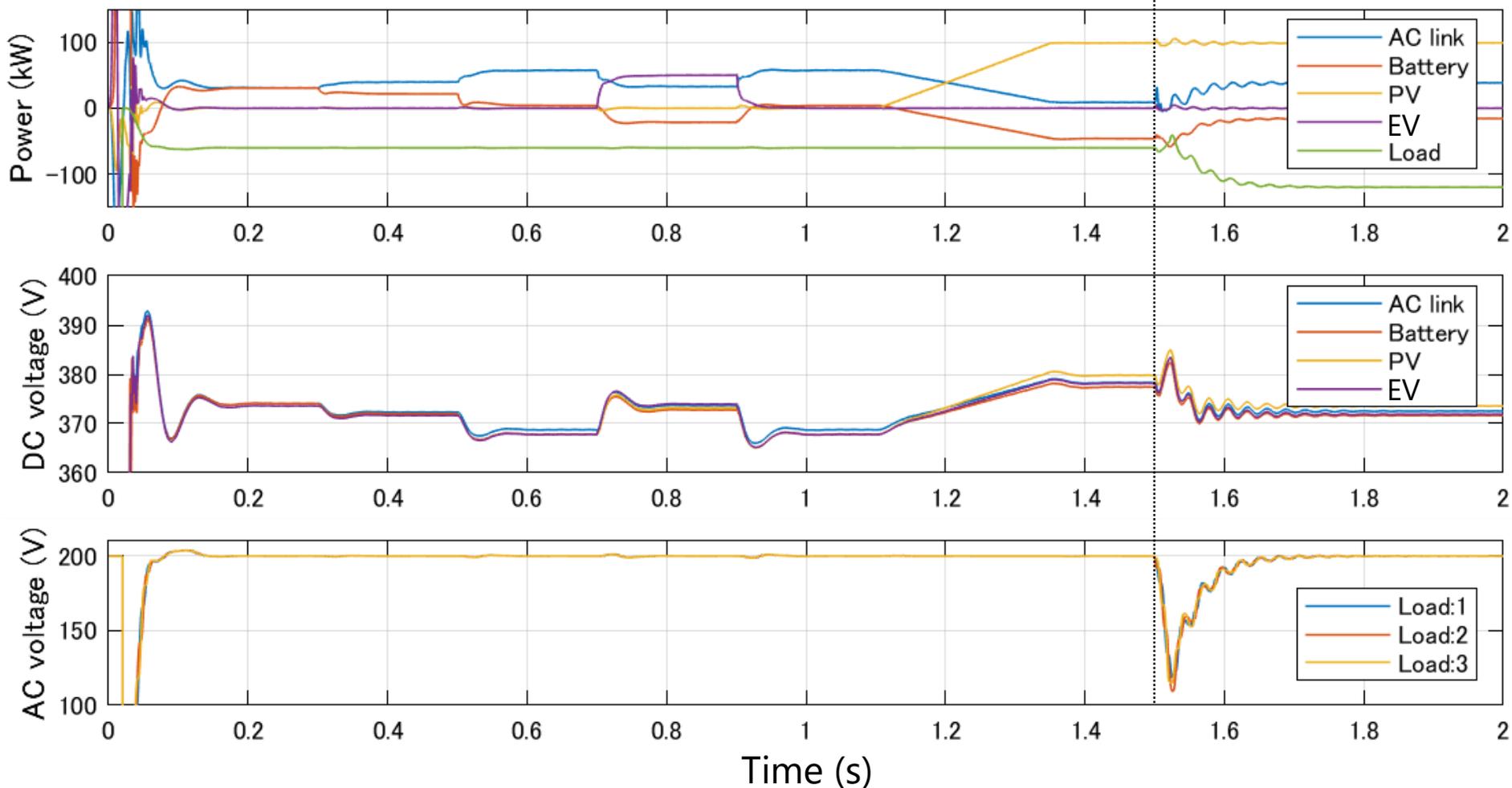
シミュレーション結果例 (DCMG構成時の各変換器制御と安定性の確認)

- **PV出力開始**
- 蓄電池・AC連系出力減少
- DC電圧上昇



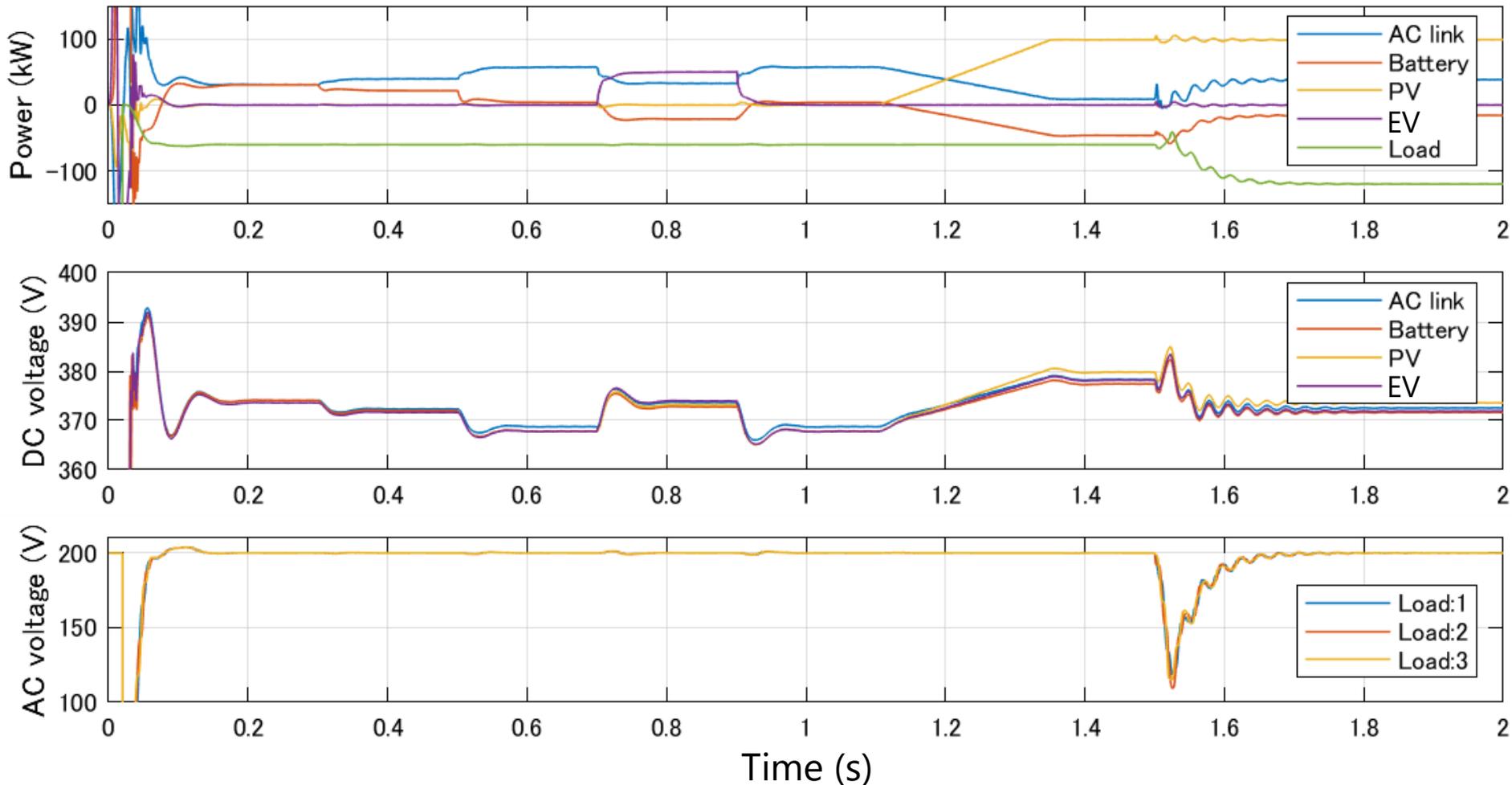
シミュレーション結果例（DCMG構成時の各変換器制御と安定性の確認）

- ・ **負荷投入**
- ・ 蓄電池・AC連系出力増加
- ・ DC電圧低下，AC電圧変動後維持



シミュレーション結果例（DCMG構成時の各変換器制御と安定性の確認）

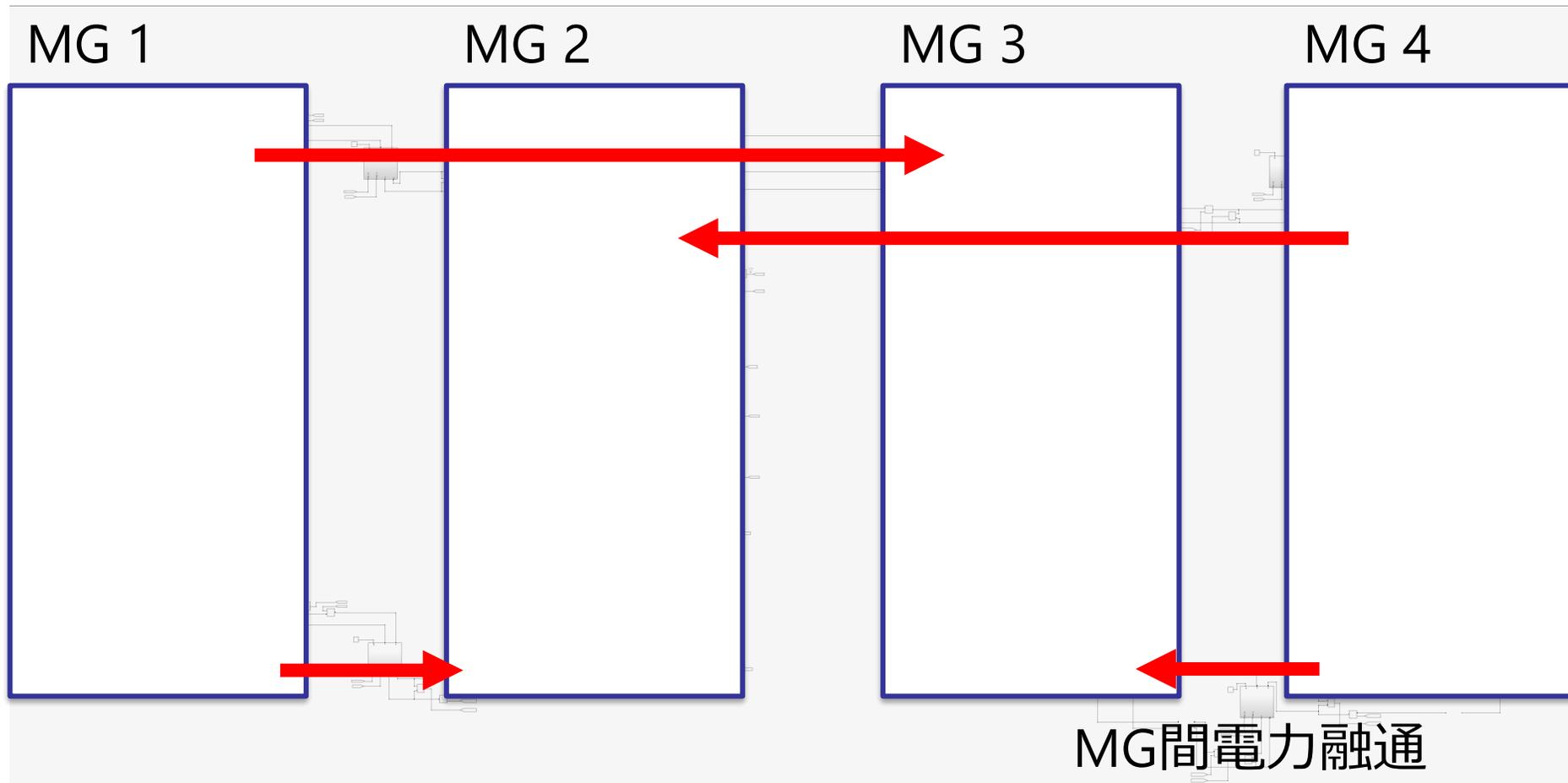
過渡モデルは変換器の特性を詳細に再現できるが、
長時間や機器数が多いシミュレーションには向かない



定常モデルを用いた 平常時の電力シミュレーション

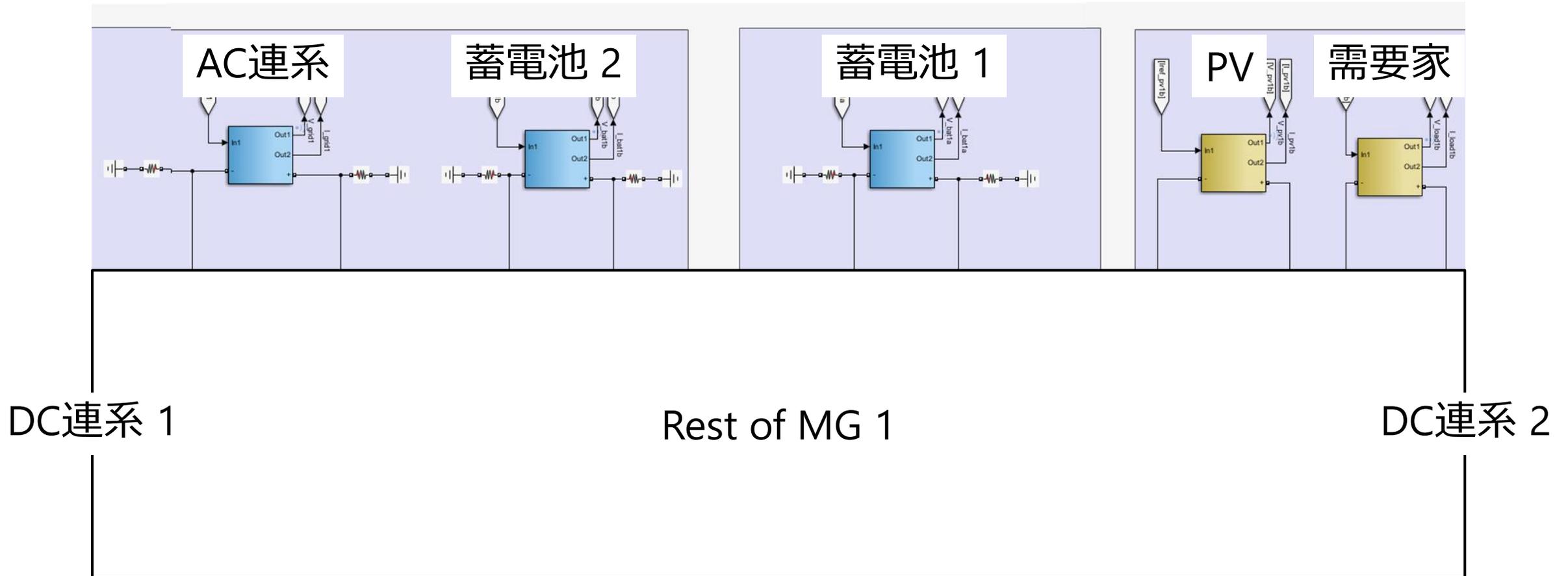
定常モデルをSimulinkで実装（全体概略図）

過渡モデルより計算時間刻みが大きいいため、
より長時間かつ機器数が多い条件で検証が可能

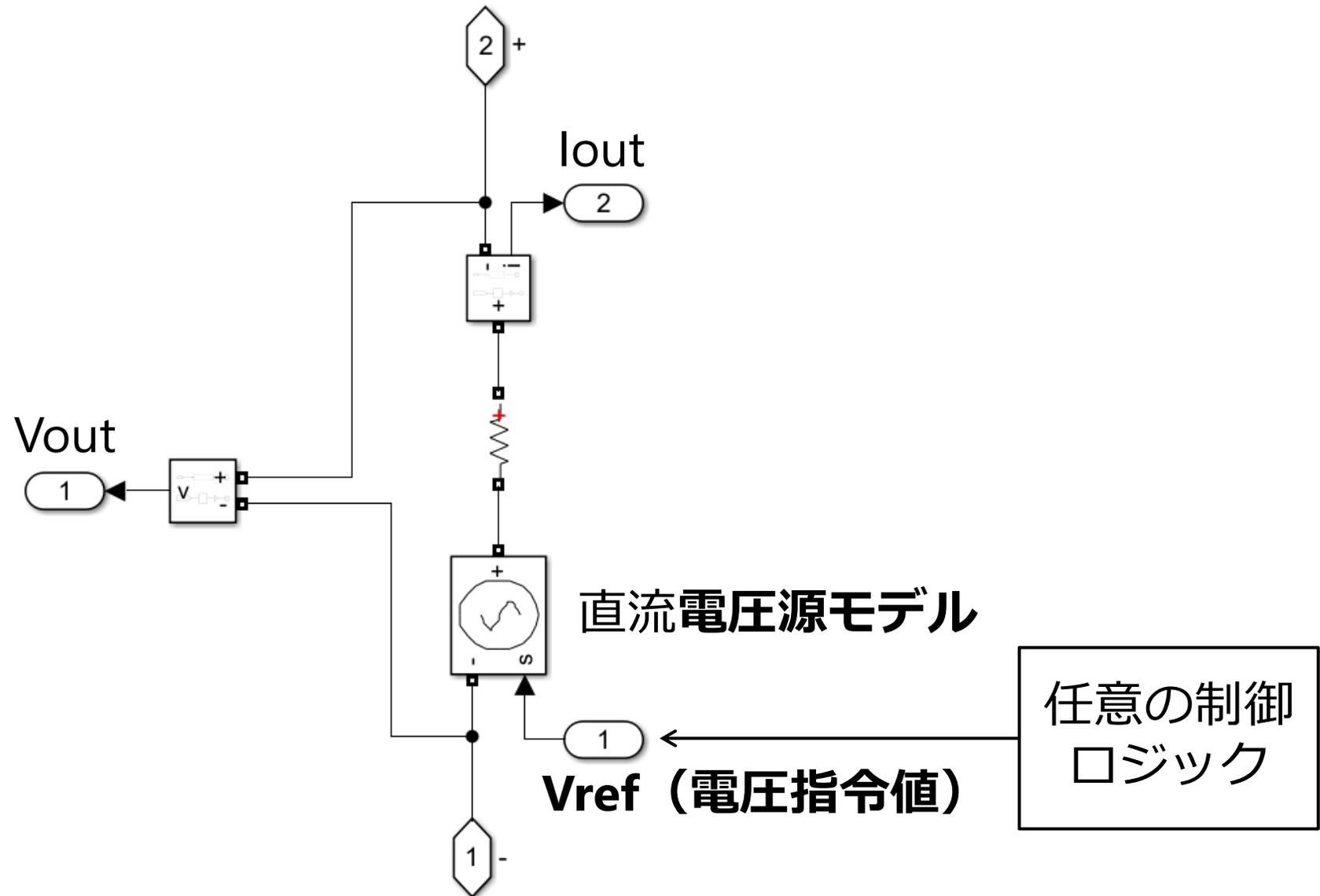


定常モデルをSimulinkで実装 (MG 1 概略図)

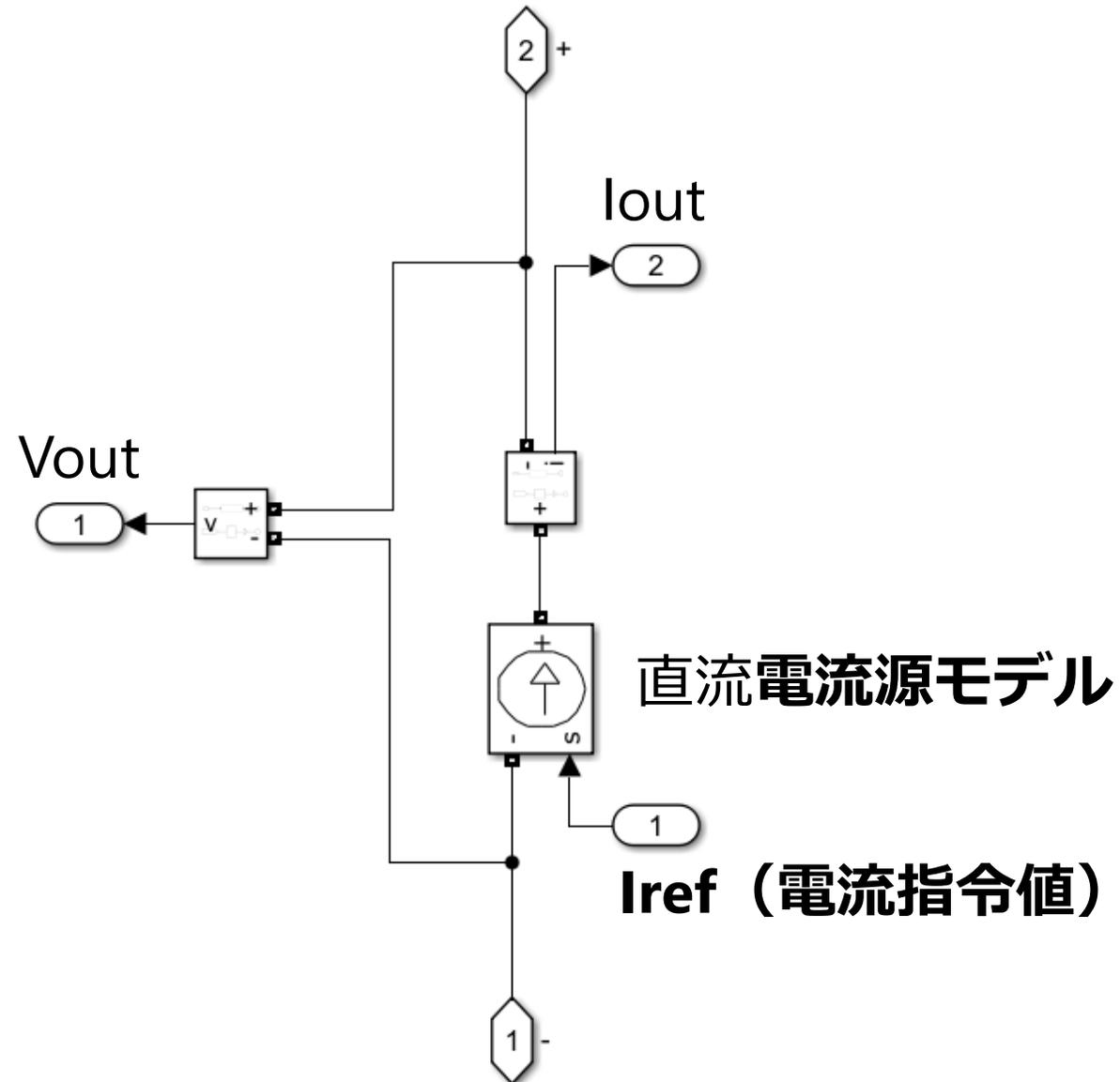
青が電圧制御型, 黄色が電流制御型, 各変換器容量は数100kW



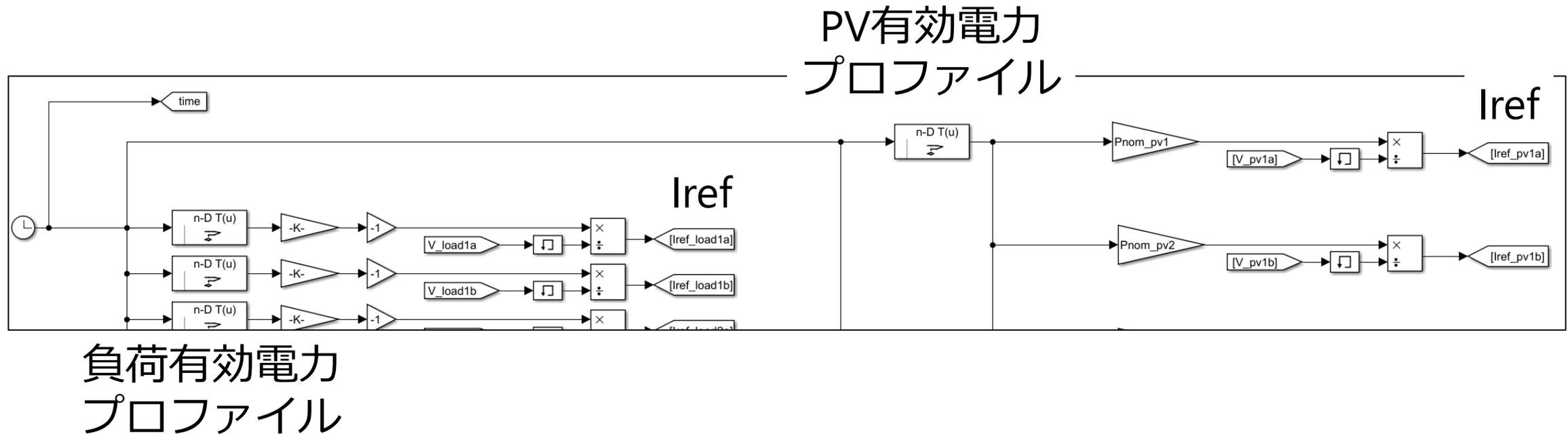
電圧制御型変換器モデル (AC連系, 蓄電池)



電流制御型変換器モデル (AC連系, 蓄電池以外)



電流指令値 Iref の計算

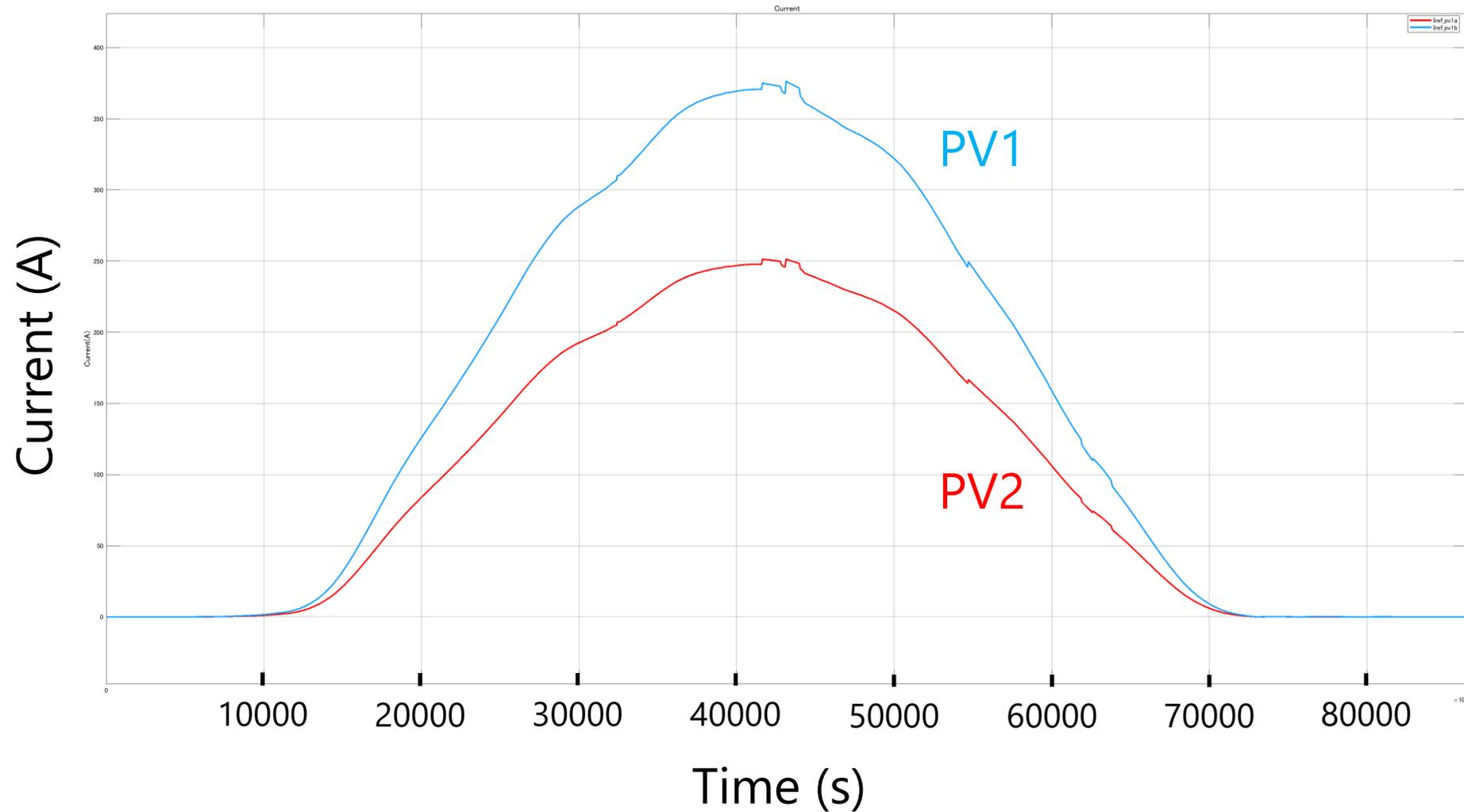


- PV, 負荷の有効電力（1日分, 1分刻み）^[1]を
自端電圧で割って電流指令値Irefを算出
- 0.05s刻みのシミュレーション用に線形補間

[1] D. A. Brodén, K. Paridari and L. Nordström, "Matlab applications to generate synthetic electricity load profiles of office buildings and detached houses," 2017 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT-Asia), Auckland, 2017, pp. 1-6.

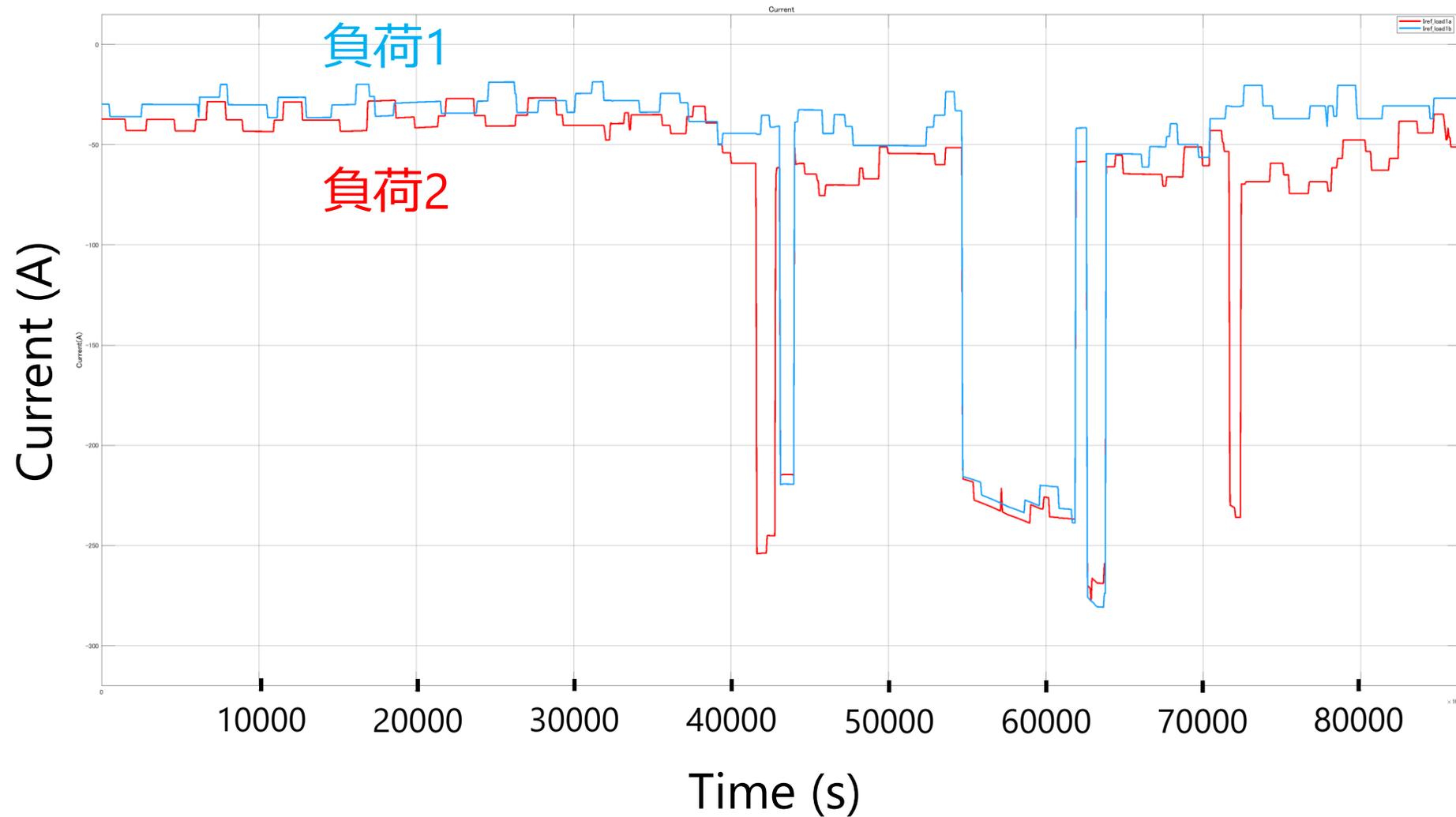
PVの電流指令値例（1日分）

PVプロフィールのpu値は全て共通（容量は異なる）

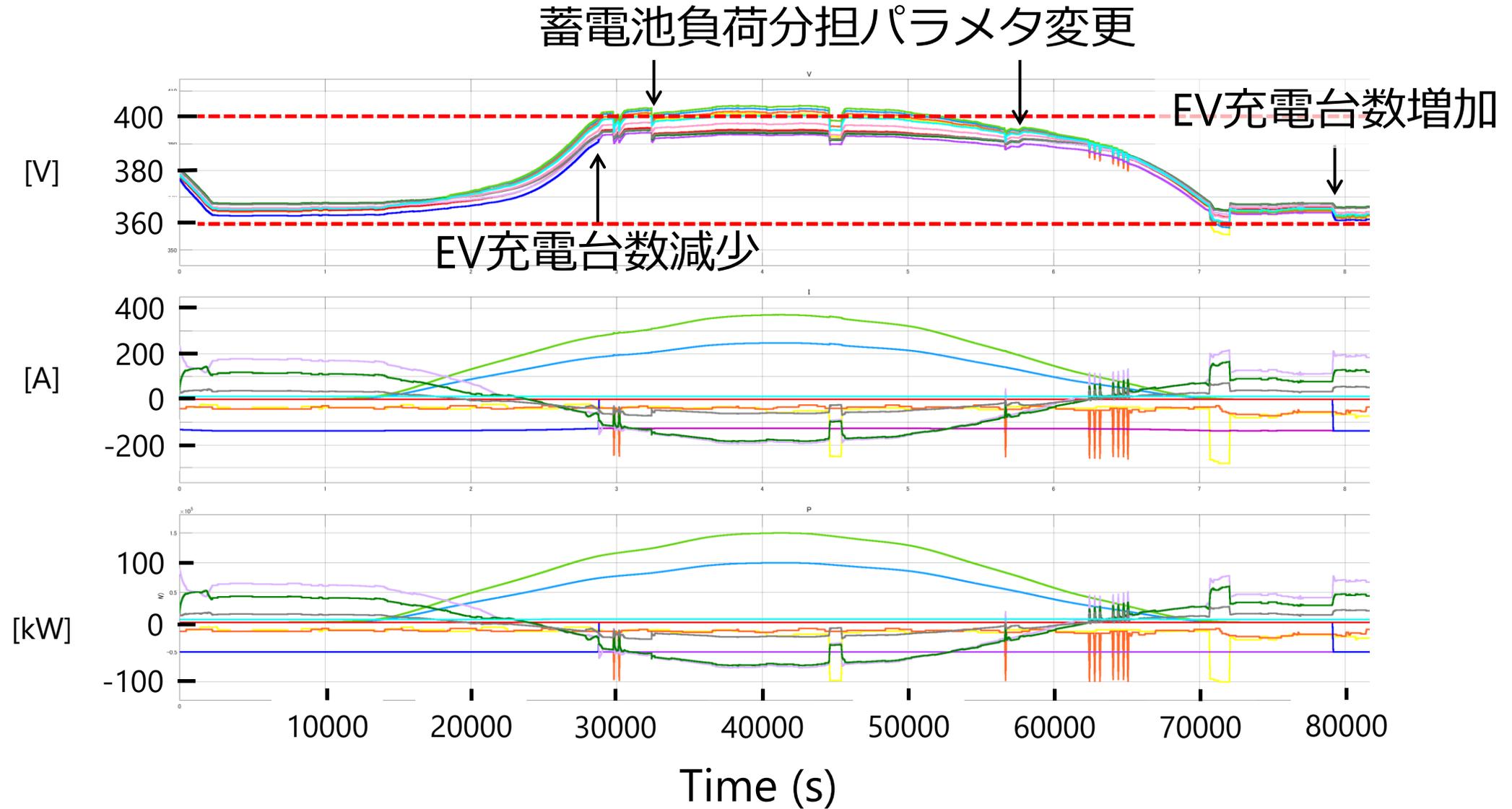


負荷の電流指令値例（1日分）

負荷プロファイルは需要家ごとに全て異なる



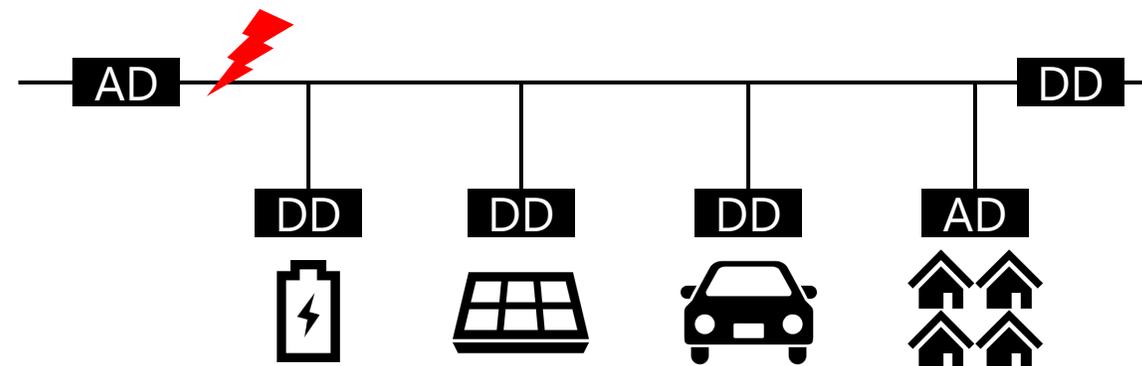
シミュレーション結果例 (1日分)



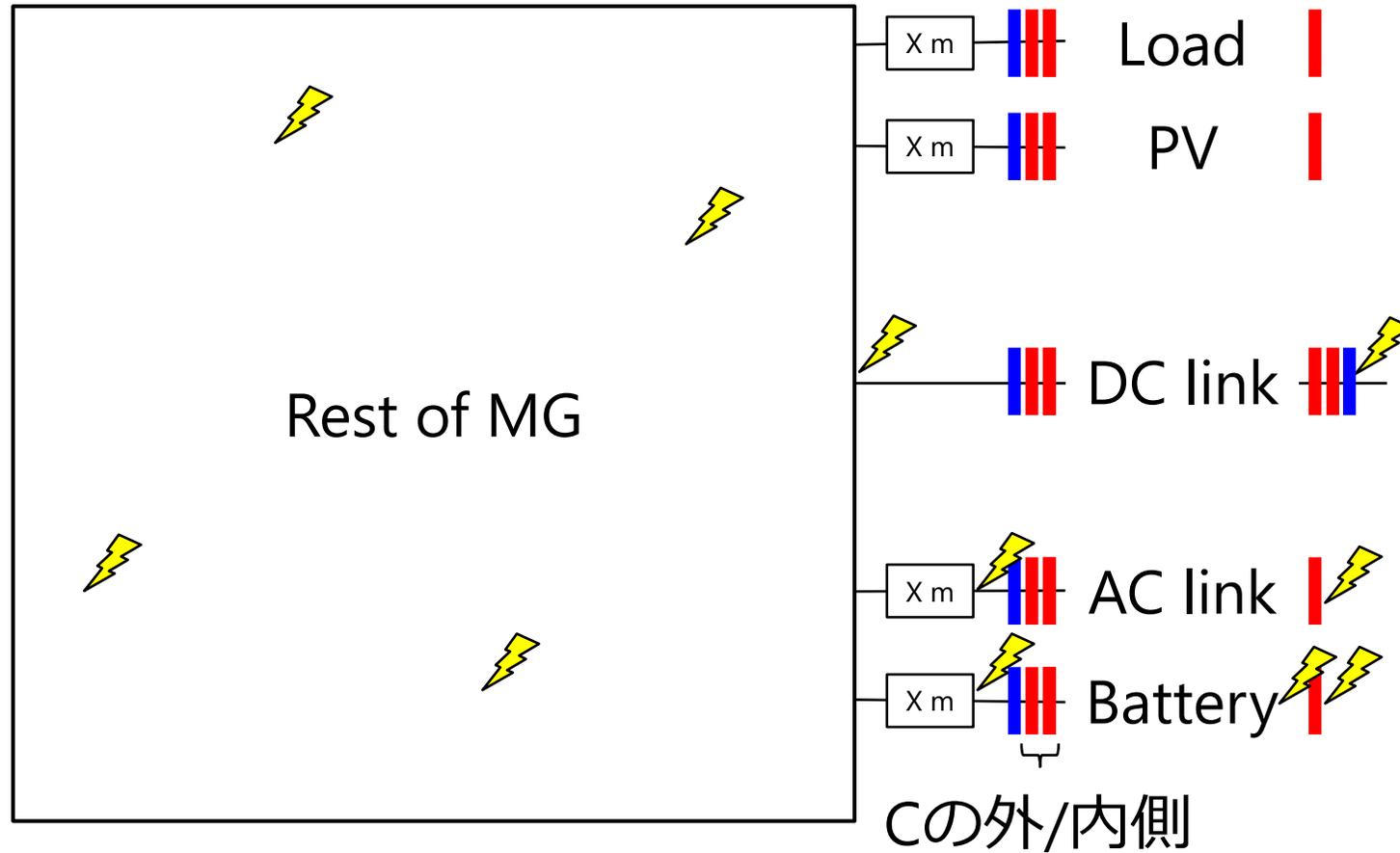
過渡モデルを用いた 事故時の電力シミュレーション

直流マイクログリッドにおける事故時の検証

- 事故の種類
 - 短絡, 地絡
 - 断線 (たいていの場合, 短絡・地絡の後に発生。ケーブルだと極稀)
- 保護対象
 - 現象: 過電流, 過電圧
 - 設備: 連系機器 (機器保護), 送配電線 (系統保護)
- 保護に関する検討
 - 事故検出, 区間判定, 事故区間遮断, 事故除去, 事故区間復帰の検討
 - 各設備の電流・電圧許容量, 遮断器性能の検討 (性能 ↔ コスト)

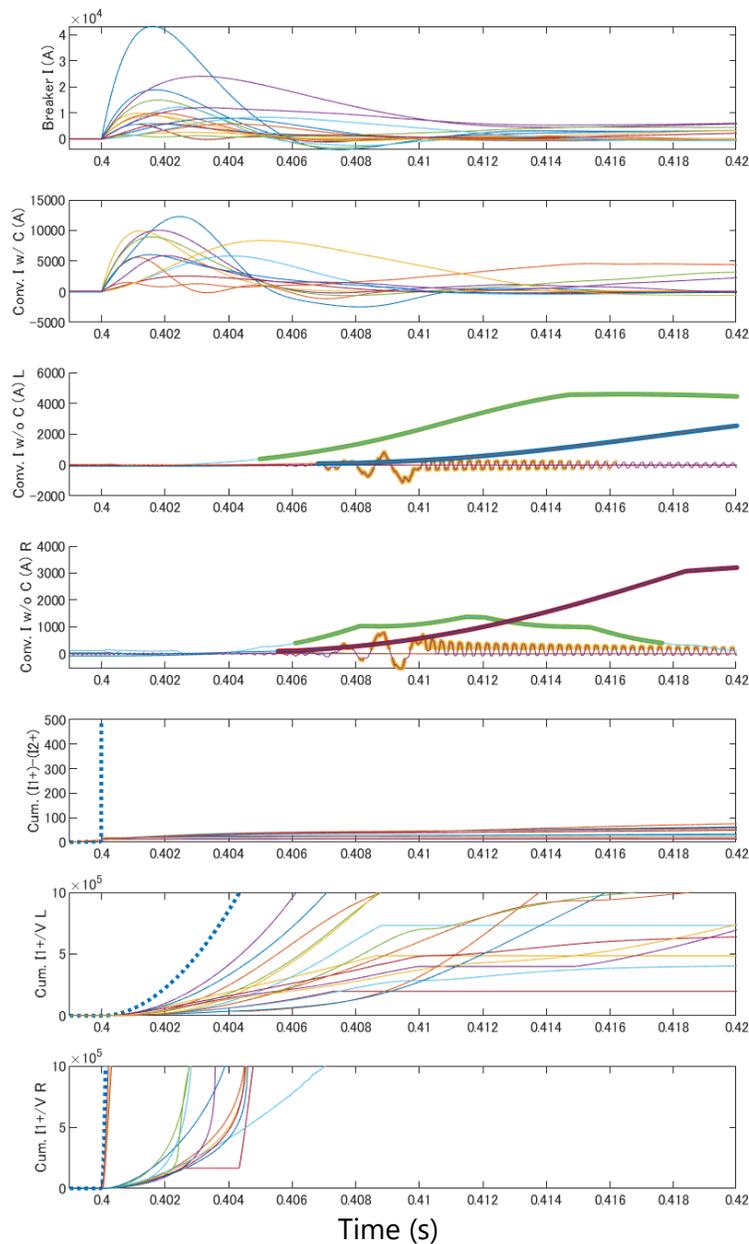


MG構成例



母線 (Bus)
 計測点
 遮断器
 X_m 線路
 ⚡ 事故点

シミュレーション結果例 (短絡発生から20ms間)



- 各遮断器に流れる電流 (A)

- 変換器の半導体素子に流れる電流 (A)

- 集中型の遮断方式の場合の遮断状況

- 自律型の遮断方式の場合の遮断状況

シミュレーション結果まとめ例（短絡）

	遮断器構成 1		遮断器構成 2	
遮断器数	N	N	M(<N)	M(<N)
遮断方式	集中型	自律型	集中型	自律型
検出・区間判定に要する時間	数 μ s	数ms	数 μ s	数ms
区間判定完了時の電流 (遮断電流容量参考値)	数100A	数10kA	数100A	数10kA
遮断遅れ許容時間	-	数ms	-	数ms
負荷への供給継続可否（全10ケース）				
100%	9	8	4	4
50%	1	2	6	5
0%	0	0	0	1

まとめ

- 直流マイクログリッドの解析のためにSimulink (Simscape Electrical) を用いた電力シミュレーションモデルを作成
 - 過渡モデル
 - 平常時の変換器の電圧・電流制御（一次制御）の安定性を検証
 - 事故時の保護システムを検証
 - 定常モデル
 - 平常時の電圧推移を考慮した最適運用計画・制御（二次制御）の検証
 - 任意のMG構成・制御ロジックを検証することができる

- 解析にSimulinkを選んだ理由
 - サンプルがWeb上に比較的豊富にある
 - GUIの使いやすさ
 - MATLABの他機能との連携

Appendix

(参考) Smart System Research Facility called "FREA-G"

- Established in 2016 for testing grid connected inverters
- Testing capability
 - Grid simulator: AC 5MVA (1.67MVA × 3 units)
 - PV/battery simulator: DC 3.3MVA, 2000V
 - Grid interconnection testing room (L, M, S)
 - Environmental testing room: -40 to +85°C, 30 to 90%RH
 - EMC testing room: 34m×34m×7.8m, largest in Japan



(参考) FREA (Fukushima Renewable Energy Institute, AIST)



(参考) FREA Virtual Tour

バーチャルツアー [360°モード]

再エネ活用ゾーン
研究本館前

産総研トップへ
FREA HPへ



(参考) FREA 3D Introduction



(参考) Recruitment

English search

[産総研について](#)
[研究成果](#)
[連携と技術相談](#)
[コミュニケーション](#)
[採用情報](#)
[アクセス](#)
[お問い合わせ](#)

エネルギー・環境

生命工学

情報・人間工学

材料・化学

エレクトロニクス・製造

地質調査

計量標準

ホーム > 採用情報 > 研究職員募集

採用情報

研究職員募集

産業技術総合研究所（以下「産総研」と略記します。）は研究職員約2,300人、事務職員約700名を擁する国内最大規模の公的研究機関です。産総研では、社会課題の解決を目指し、理工系の幅広い分野での先端的な研究や地質調査・計量標準などの知的基盤の整備に係る研究を行っています。

このため、産総研では、高い専門性と研究能力に加え、研究成果の社会実装に強い意欲を持つ研究人材を求めています。

■ 募集中の公募

2021年度第1回研究職員公募

採用区分	任期	本年度採用予定数	公募課題	応募方法
デニュアトラック型 任期付研究員	任期付	合計88名程度	課題一覧	応募方法
パーマネント型研究員	任期無 (定年制)			
年俸制任期付研究員	任期付			
プロジェクト型任期付研究員	任期付	外部資金 プロジェクト 実施状況による		

- ▶ **研究職員募集**
- ▶ 応募方法
- ▶ デニュアトラック型任期付研究員
- ▶ パーマネント型研究員
- ▶ 年俸制任期付研究員
- ▶ プロジェクト型任期付研究員
- ▶ プロジェクト型任期付研究員 (通年公募)
- ▶ 修士型研究員
- ▶ 公募課題一覧 (2021年度第1回公募)
 - ▶ エネルギー・環境領域
 - ▶ 生命工学領域
 - ▶ 情報・人間工学領域
 - ▶ 材料・化学領域
 - ▶ エレクトロニクス・製造領域
 - ▶ 地質調査総合センター
 - ▶ 計量標準総合センター
 - ▶ 突出人材
- ▶ 【通年公募】 外部資金プロジェクト公募課題一覧

(参考) Research Assistant (RA) & Technical Training System

産総研について 研究成果 連携と技術相談 コミュニケーション 採用情報 アクセス お問い合わせ English search

エネルギー・環境 生命工学 情報・人間工学 材料・化学 エレクトロニクス・製造 地質調査 計量標準

ホーム > 連携と技術相談 > 産総研リサーチアシスタント制度

産総研リサーチアシスタント制度

産総研は、優れた研究開発能力を持つ大学院生を産総研リサーチアシスタント（契約職員）として雇用します。雇用された大学院生は、産総研が実施している社会ニーズの高い研究開発プロジェクトに参画すると共に、その研究成果を学位論文に活用できます。

現在募集中の産総研リサーチアシスタントはこちら
プレスリリースはこちら

連携と技術相談

- イノベーションコーディネータ
- 技術相談
- 地域の連携窓口
- 特許情報
- 連携実績

雇用条件 / 処遇

- 雇用開始時点で大学院生である方が対象です（社会人大学院生等は除きます）。
- 1日あたりの勤務時間は、7時間45分（休憩時間1時間）です。

対象	博士後期課程（博士課程）の大学院生	博士前期課程（修士課程）の大学院生
条件	産総研の研究開発プロジェクトの推進に大きく貢献可能な高度な研究開発能力・論文生産能力を持ち、職員の指導のもと自立的に業務を遂行できること	産総研の研究開発プロジェクトの推進に貢献可能な研究開発能力を持ち、職員の指導のもと自立的に業務を遂行できること
雇用日数	1ヵ月あたり平均10～14日 (外国人留学生の方は平均10～12日)	1ヵ月あたり4～14日 (外国人留学生の方は4～12日)
給与額	時給1,900円 (月14日勤務で月額約20万円)	時給1,500円 (月7日勤務で月額約8万円)

Source: https://www.aist.go.jp/aist_j/collab/ra/ra_index.html

組織・業務 OIL 産総研コンソ MOU 技術研究組合 RA 技術研修 人材募集 お問い合わせ English search

イノベーション推進本部 産総研トップへ

連携企画部 企業・大学室
Collaboration Coordination Division Industry and University Affairs Office

ホーム > 連携と技術相談 > 技術研修

技術研修

- 大学、企業、公設研究所などの研究者・技術者を産総研に一定期間受け入れ、産総研の研究者の指導の下に技術を習得して頂く制度です。インターンシップから学位取得に向けた研究指導まで幅広く対応しています。
- 産総研にある最先端の研究施設を利用したり、最先端の実験・分析技術などを習得したりすることができます。
- 学生の場合、一定の条件を満たせば要領に基づき旅費を支給することができます。

- 事前調整
研修を希望される方は、産総研の研究者と研修内容等について事前調整をしてください。
- 申込
研修開始希望日の**1ヵ月前**までに、事務担当係へ**技術研修申請書**[Word: 22KB] (**記載例**[PDF: 198KB])を提出してお申し込みください。
※年度初めの場合、手続きに時間がかかりますので**2ヶ月前**までに申請書をご提出ください。
- 承諾
事務担当係からご依頼機関の事務担当の方へ「技術研修承諾書」を発行します。
- 研究指導の実施
産総研にて技術研修を実施します。
途中で技術研修の内容に変更がある場合は、**技術研修事項変更申請書**[Word: 21KB]を提出してください。
- 経費請求
経費が発生する場合には、経費を請求いたします。(学生は請求対象外です。)
- 経費支払
請求書の指定口座に経費をお振り込みください。
- 報告
技術研修終了後、研修員は事務担当係へ**技術研修終了概要報告書**[Word: 21KB]を提出してください。

※担当係：各事業所事務担当係 Eメール：g-kenshu-ml@aist.go.jp (*を@に変更して送信してください。)

Source: <https://unit.aist.go.jp/colpla/iuao2020/gijutsukenshu.html>

(参考) SoRA (Solar Resource Application Platform)

SoRA Solar Resource Application platform
Renewable Energy & DER integration

ホーム SORA データ その他

Innovation

新しいエネルギーネットワークの提案
再生可能エネルギーを最大限活用するための新しいエネルギー供給モデルを提案します。
Proposal of new energy network:
We propose a new energy supply model that will make full use of available renewable energy.

再生可能エネルギーネットワークの提案
再生可能エネルギーを最大限活用するための新しいエネルギー供給モデルを提案します。

Proposal of new energy network:
We propose a new energy supply model that will make full use of available renewable energy.

再生ポテンシャルマップ
Future Energy Map

将来の再生ポテンシャルについて、シナリオ別の再生可能エネルギー発電量などマップで表示可能です。
This energy estimation map can provide future energy production from both PV and Wind in different cases.

PV発電量推定ツール
PV Energy Estimation

任意の地点、モジュール等を指定し、指定した地点の年間推定発電量と当日の予測発電量等をグラフ表示・閲覧することが可能です。
This tool provides PV energy estimation result at your site. You can designate installation points, module types, etc. and view the monthly and annual estimated PV energy yield.

気象データベース
Weather Database

福島県を含む複数地点（局地観測網、広域観測網、気象衛星）において再生可能エネルギー資源の同時測定データを収集しています。
This data base provides multiple locations weather data for real-time and past data. The data includes solar irradiance, wind speed, ambient temperature, etc.

産総研 NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

FREYA FUKUSHIMA RENEWABLE ENERGY INSTITUTE, AIST