

電動車を用いた太陽光電力の 高度連携自己消費システム —バーチャルグリッド—

東海国立大学機構 岐阜大学

地方創生エネルギーシステム研究センター

特任教授 中川 二彦

2022年 7月19日

従来技術とその問題点

●ZEV(Zero Emission Vehicle)が上手く普及していない

- ・ 充電や燃料の補給がまだ不便である。
 - ・ 航続距離が短い, または高価である。
- ユーザの利益や利点が明確でない

●太陽光発電(PV)の電力は、そもそも既存の商用系統で供給することに適していない。したがって、

- ・ **送電(輸送)効率が悪い**(供給損失と余剰損失が多い)
⇒有効に使える太陽光の電力が減少する⇒**運用コストが高くなる**
- ・ **需給調整が難しい**(蓄電池とその一元管理が必要)
⇒蓄電池は単なる貯蔵装置であり、電力を生まない⇒**設備コストが高くなる**

●供給・製造者側の視点が多く、消費側の実態とその改善が考慮され難い

上記の課題は、自動車や電力需給システムにおける過去の成功体験から新技術が持つ本来の有効性が正しく理解されていないためと考えられる。

紀元前

馬車の登場

1600年代前半

馬車が移動手段として一般に普及

1800年代末
～1900年代初頭

モータ自動車

蒸気自動車

エンジン自動車

自動車の登場 **車両と動力機関の統合化**



移動手段+**新機能(速度)**の付加

- ・エンジン車が普及：新機能(速度)を享受する上で最も扱い易かった
(車両コスト、技術革新が理由と言われている)

1900年代末
～2000年代初頭

電気自動車(EV)

燃料電池車(FCV)

ハイブリッド車(PHV)

普及の動機になる**新機能は何か？**

高性能電池搭載車

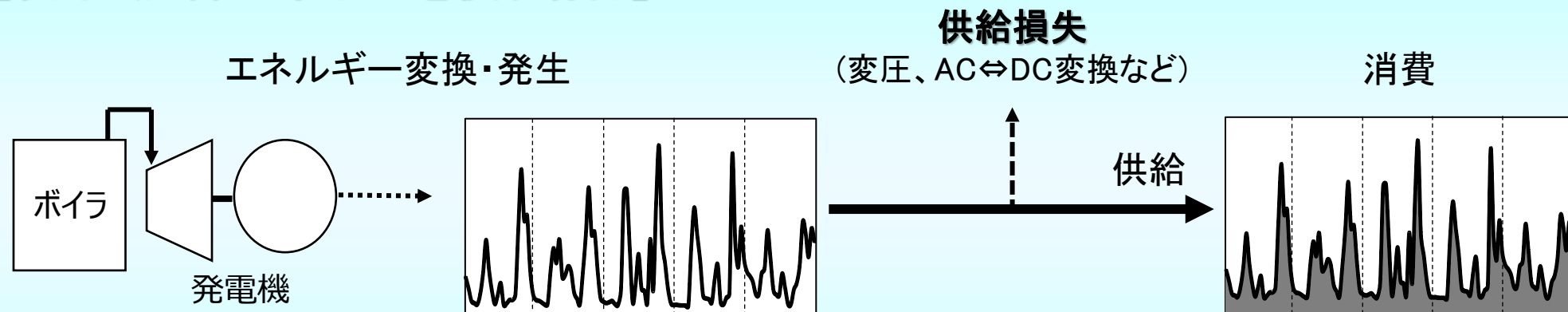


自動車とエネルギーシステムの統合化？

- ・**新機能とは：消費者が実感できるベネフィットである**
⇒消費者のひとりとして考えると、
例えば、燃料補給や充電の利便性、コストパフォーマンスなど

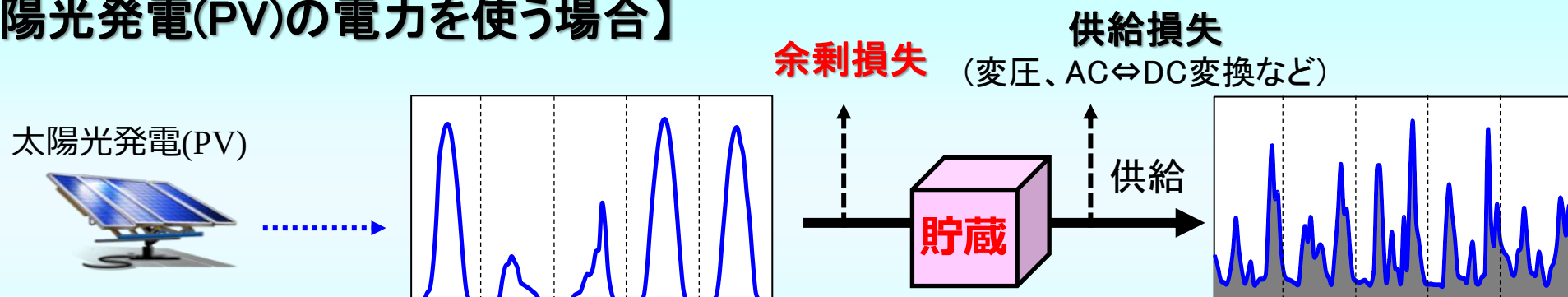
電力供給システムとは:消費に合わせて電力を供給する仕組み

【従来:燃料や原子力を使う場合】



消費に合わせて発生側を制御する

【太陽光発電(PV)の電力を使う場合】



消費に合わせるためには貯蔵が必要

余剰損失と供給損失を最小化するには、PVの特性に合った仕組みが必要

新技術の特徴・従来技術との比較

- EVの蓄電池を有効利用し、「**人・物の輸送**」と「**電力輸送**」を一元化し、**消費者にとって最も合理的な仕組み**を提案。
- 従来は、太陽光発電(PV)の電力は送電線で供給されていたが、
 - (1)電動車の蓄電池を用いて、PV電力を貯蔵・輸送すること
 - (2)移動する蓄電池と定置型の熱貯蔵(蓄電装置)を組み合わせること
 - (3)上記を、**様々な状況に応じて最適に制御すること**により、**電力消費のPV電力比率 $\geq 80\%$ (余剰発生 $\leq 10\%$)**にできる
- 本技術はあらゆる電動車と電力消費設備の組み合わせに適用でき、
 - ①太陽光発電の送電効率が飛躍的に向上。
 - ②送変電設備、定置型蓄電池の投資が最小化(基本的に不要)。
 - ③消費者は自ら管理するグリッド内でPV電力を最適に使用。により、**電力単価が1/2以下の14円/kWh以下に低減**可能である。
- 本技術の導入にあたり、装置・設備のリビルドやリプレイスは最小限である。

昼間

EV駐車やPV発電等の状況に応じ、PV電力の供給先を最適化

駐車場を併設する施設
・勤務先(工場, 官庁, 学校等)
・商業施設, 娯楽施設等

EVはPV電力で充電
(不足分は系統で補充)

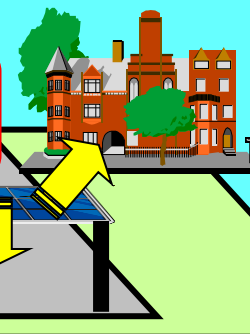
湯沸し・蓄熱装置
(固定式蓄電装置)

家庭

太陽光発電(PV)



EVはPV電力で充電
(不足分は系統で補充)



PVの売電は必須でない

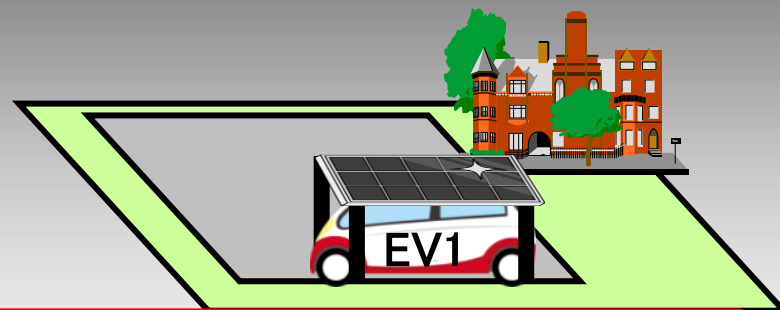
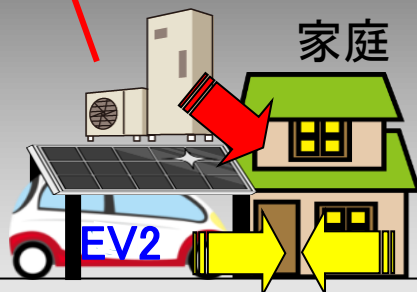
PV電力はEVか家庭へ供給

PVの余裕電力は駐車先の施設へ供給

夜間

貯湯槽(固定式蓄電装置)から家庭へ熱を供給

駐車場を併設する施設
・勤務先(工場, 官庁, 学校等)
・商業施設, 娯楽施設等



定置型蓄電池は必須ではない

・EV1(通勤車:移動式蓄電池)による電力輸送⇒家庭へ電力供給
・EV2(日常車:移動式蓄電池)による蓄電⇒家庭へ電力を供給

EVを用いたPV電力輸送コミュニティ ー バーチャルグリッド(VG) ー

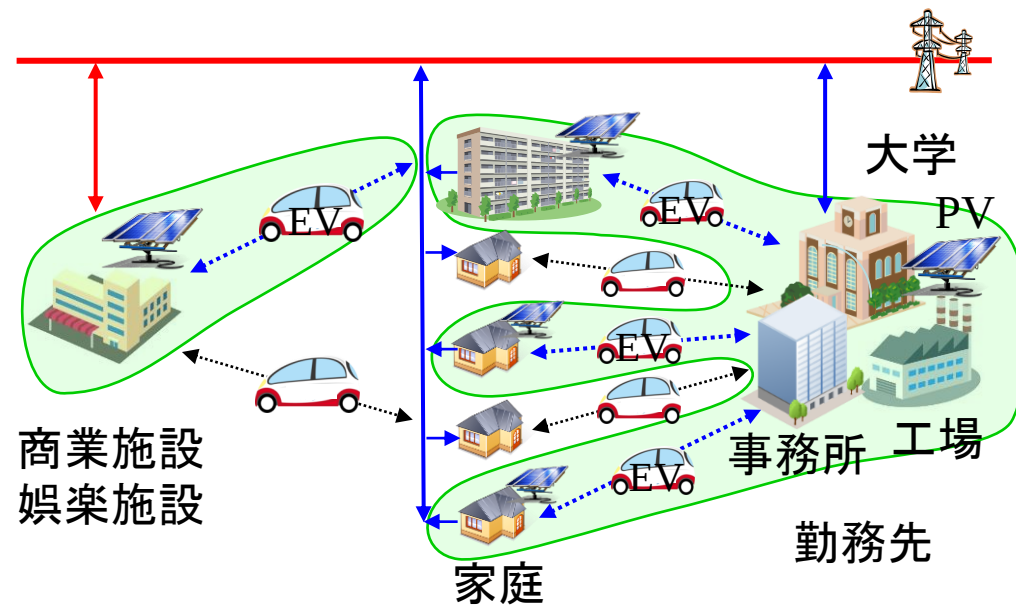
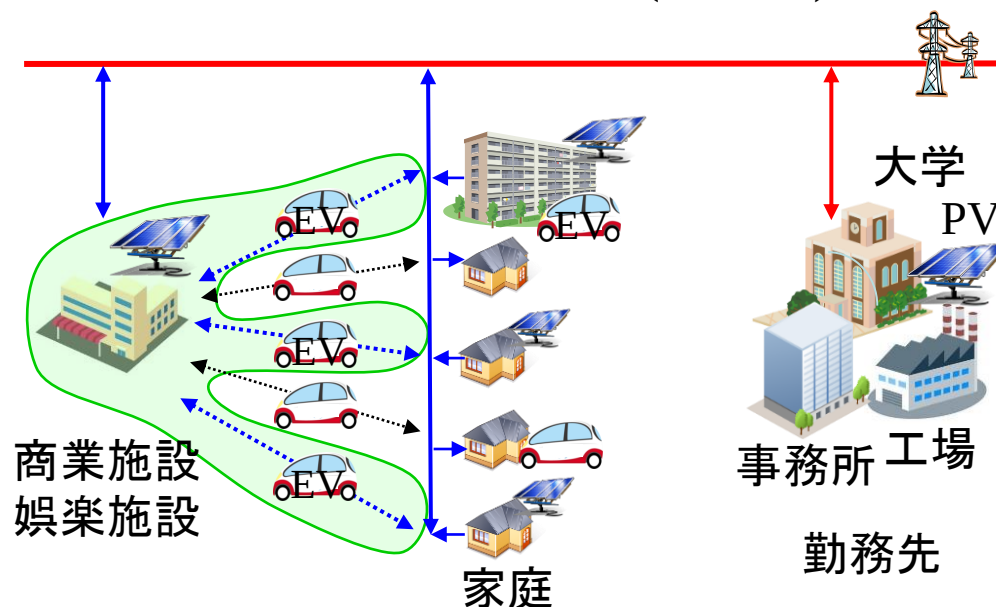
【休日】

【平日(労働日)】

←→ 配電網の電力

←---→ EV(PV電力)の動線

←---→ 従来自動車の動線



【VGが従来のシステムと異なる点】

- (1) **シンプルな構成**: PV、EV(移動式蓄電池)、V2Hおよび貯湯槽(固定式蓄電装置)で構成
- (2) **地理的、空間的制約がない ⇒ サイバーフィジカルなシステム(設計と運用が難しい)**
時々刻々変化する連携先と各装置のエネルギー需給を同時に満足しないといけない
- (3) **大きなインフラ、プロバイダーは不要、最小単位でも効果が大い ⇒ 消費者コストを削減**
最小単位から構築を始めて、大規模化が容易にできる。

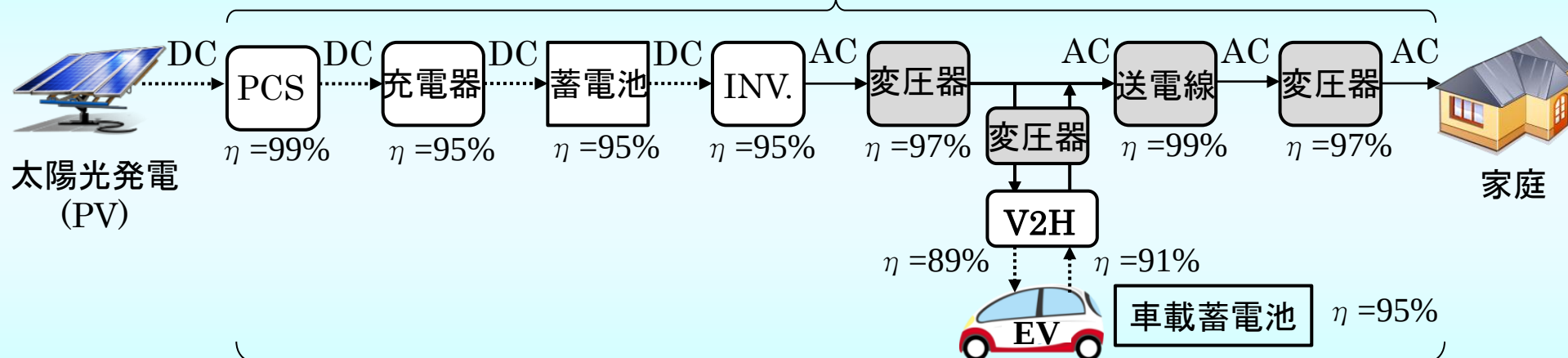
PV電力の供給効率の比較例

ーバーチャルグリッドの利点 Iー

【既存の商用系統利用】

PCS: パワーコンディショナー, INV.: インバーター, V2H: Vehicle to home

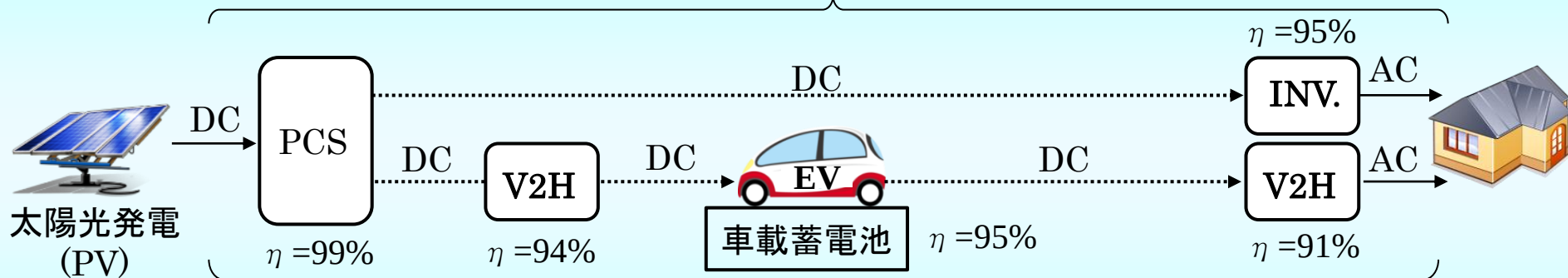
直接供給する場合 $\eta = 79.1\%$ (蓄電池不使用 $\eta = 87.6\%$)



EVを利用して負荷調整する場合(VPP:バーチャルパワープラント) $\eta = 57.2\%$

【電動車(EV)利用】

直接供給する場合 $\eta = 94.1\%$

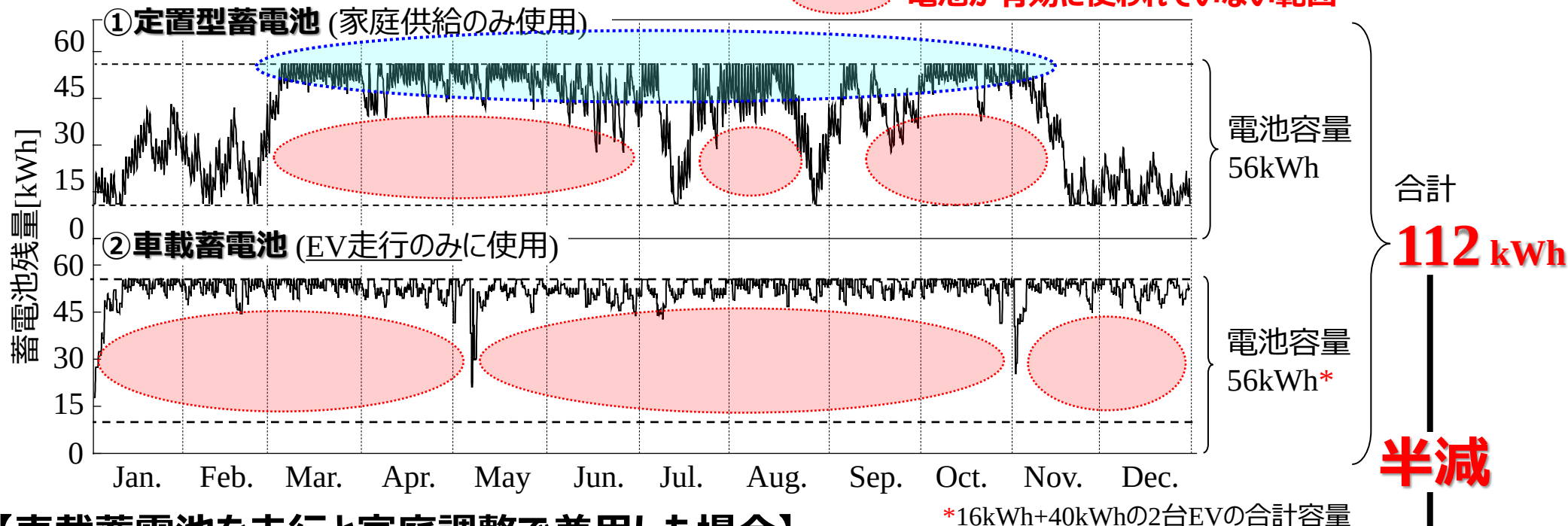


EVを利用して負荷調整する場合 $\eta = 80.5\%$

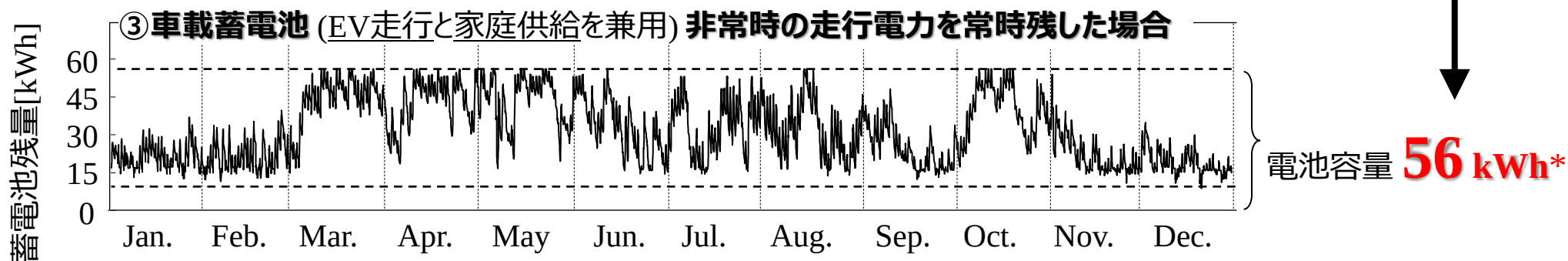
PV電力に限ると, EVによる電力輸送は系統よりも供給損失が少なく、設備コストも安い

【定置型と車載型を個別に使用した場合】

容量上限に達し、充電不可が多発する範囲
電池が有効に使われていない範囲



【車載蓄電池を走行と家庭調整で兼用した場合】



- ・車載は走行で電力を消費する⇒兼用の方がPV電力の調整能力が高い。
- ・兼用時の車載蓄電池の充電量は30～80%⇒電池寿命が延びる。

【家庭と勤務先の組み合わせ例】

【太陽光発電】

発電効率	190 W/m ²
設置出力(家庭)	5.6 kW
設置出力(勤務先)	2.4 kW

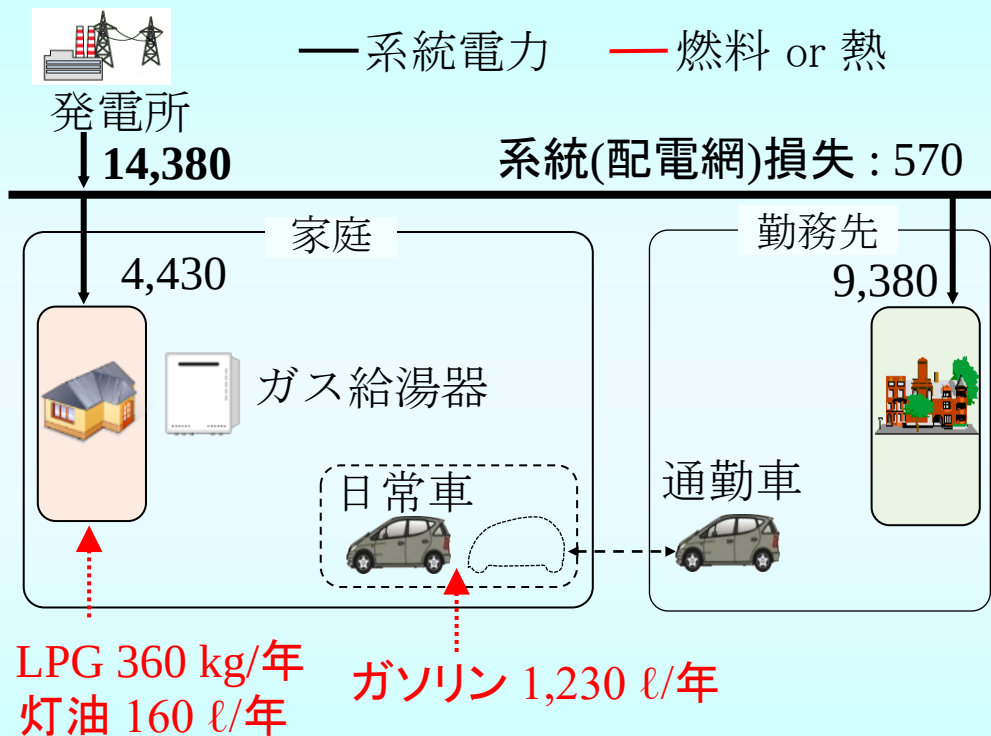
【EV】

蓄電池容量(通勤車/日常車)	16 / 40 kWh
EVの電費(走行)	9.1 km/kWh
蓄電池の使用範囲	20 ~ 100 %

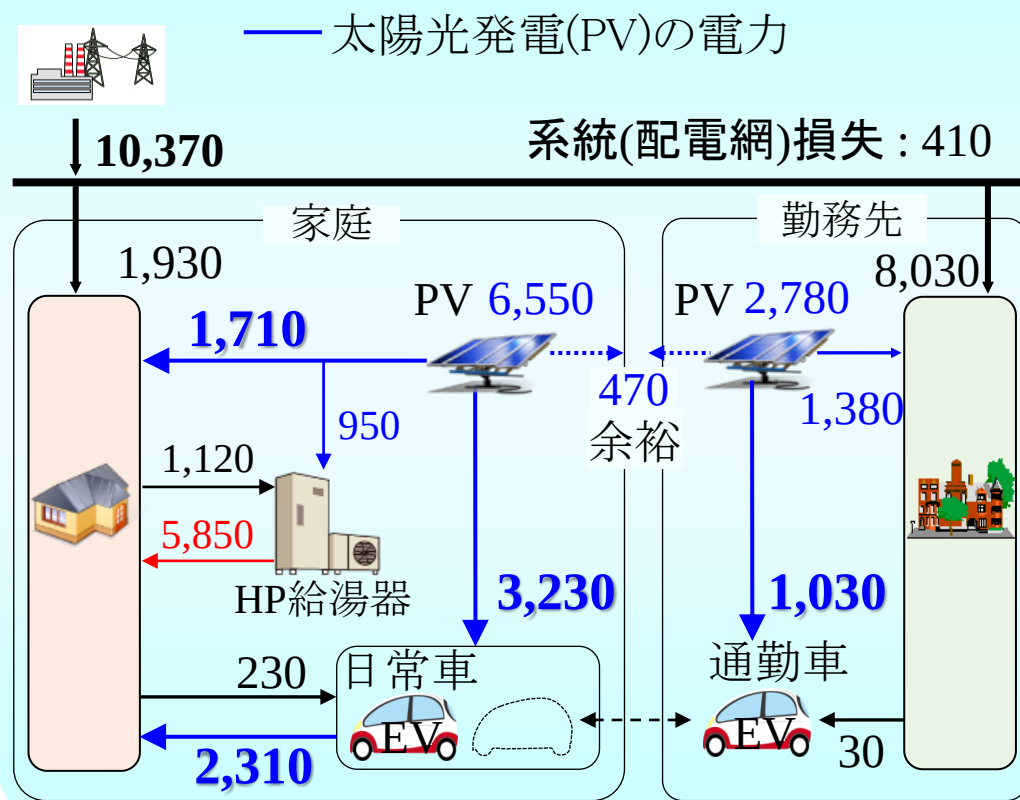
HP給湯器

加熱能力	6 kW
貯湯槽	460 ℓ
湯沸かし温度	65 °C

【従来の仕組み】



【家庭と勤務先の組み合わせ】 単位: kWh/year



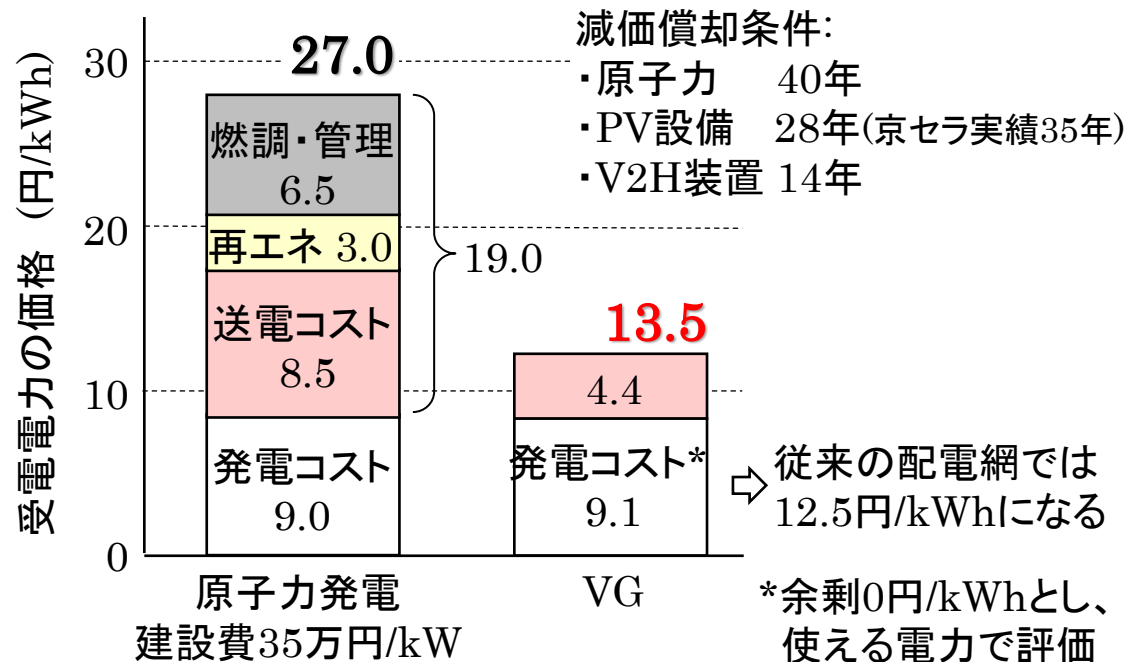
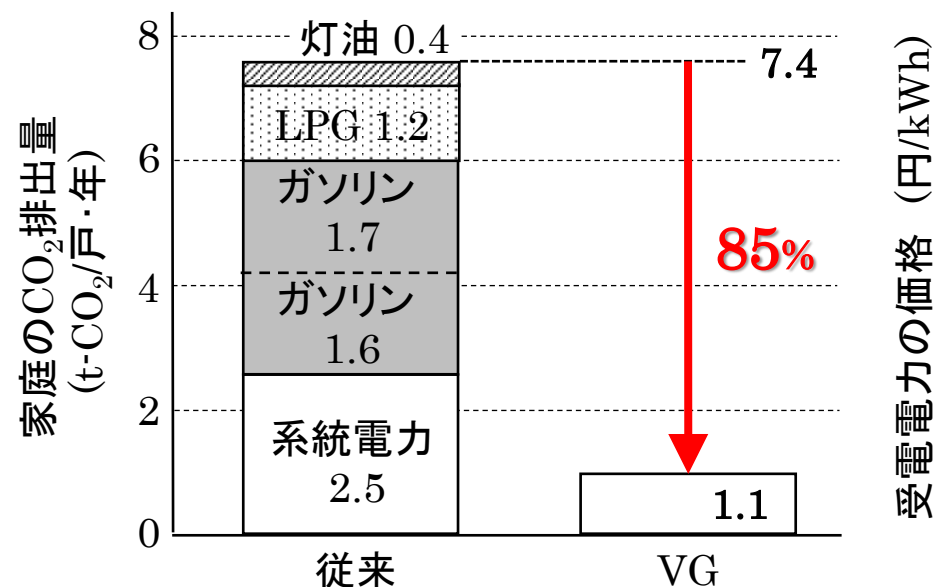
- ・PV電力の約半分が一旦EVへ供給され、その半分以上が家庭へ供給される。
- ・EVに供給される電力の94%以上がPV電力である。

【単純投資回収年】:将来7年以内が期待

設備費例	単位：千円
太陽光発電 (8.5 kW)(PCS、架台込)	1,600
V2H (V2H: 2セット):普及時想定時	400
HP給湯器	300
マネジメントシステム:普及時想定	50
設置工事、配線工事一式	780
設備費合計(家庭一戸あたり)	3,200

	年間経費例	単位：千円/年
	従来	バーチャルグリッド(VG)
電力(勤務先)	188	161
電力(家庭)	121	53
ガソリン	197	0
LPG & 灯油	146	0
合計支出	652	214
支出削減額		438

【フルコスト評価】

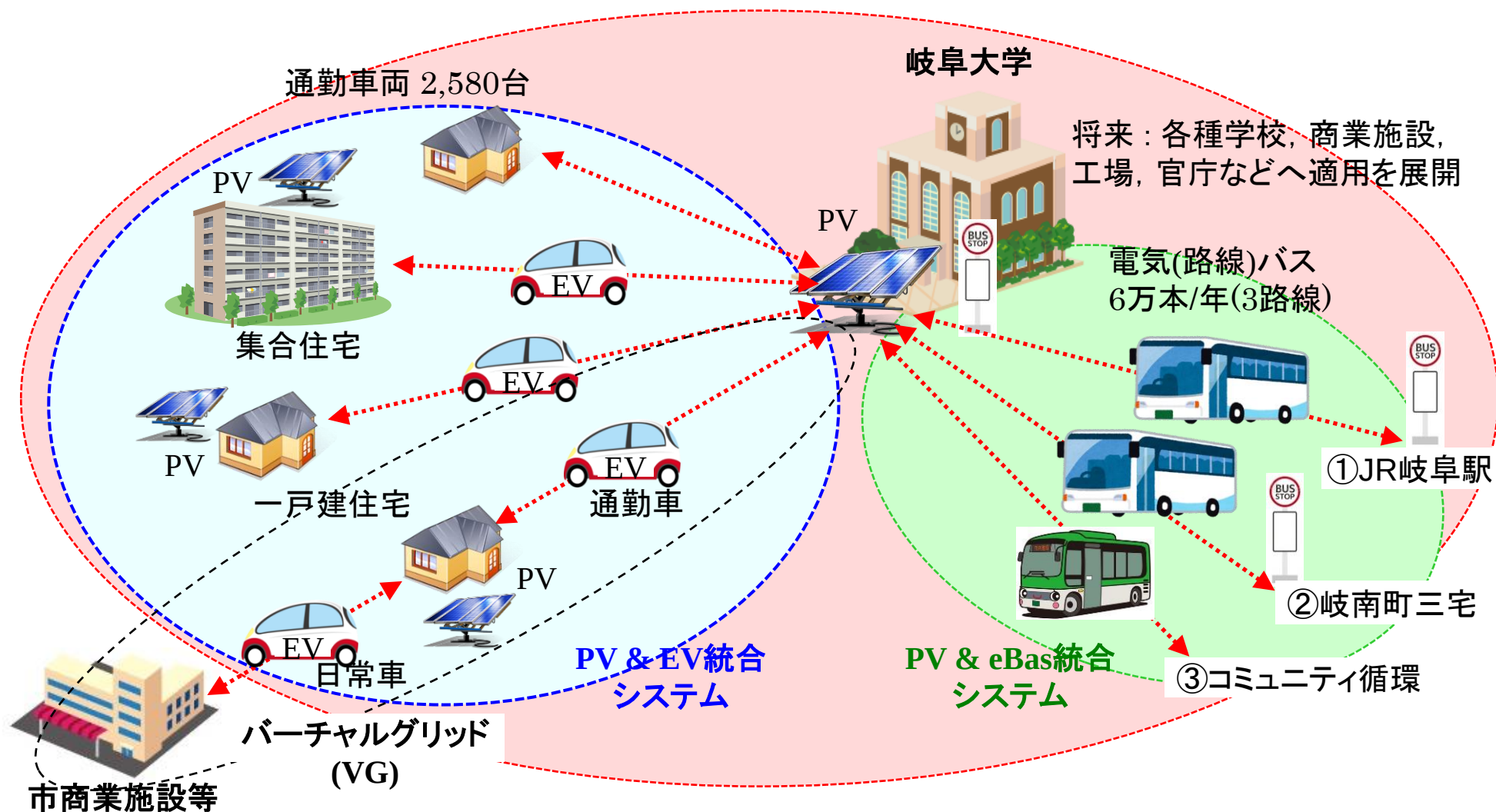


家庭の消費者受電単価 ≤ 13.5円/kWh(現状の半分)にできる

想定される用途

- バーチャルグリッドは、EVと電力融通が可能な全スキームに適用できる。
対象EV例：自家用EV、電動バス、蓄電池電車、配送車、建設機械、農機具など
電動化可能なあらゆるEVに適用できる。
- PV発電、通勤車、路線バスおよび勤務先の大規模バーチャルグリッド
では**大きなCO₂削減と経済効果**が得られる。
- 勤務先のEV通勤車一人当たりの電力消費量 $\leq 10\text{MWh/人}\cdot\text{年}$ ならば、
グリッド全体のPV電力比率 $\geq 60\%$ 、CO₂排出量の70%を削減できる。
⇒**企業で現実的に実行可能なカーボンニュートラルの柱のひとつ。**
- 都市部の高層マンションでも、屋上、共用場所および壁面で35~40m²/戸
のPV設置で、一戸建てと同様の効果が得られる。

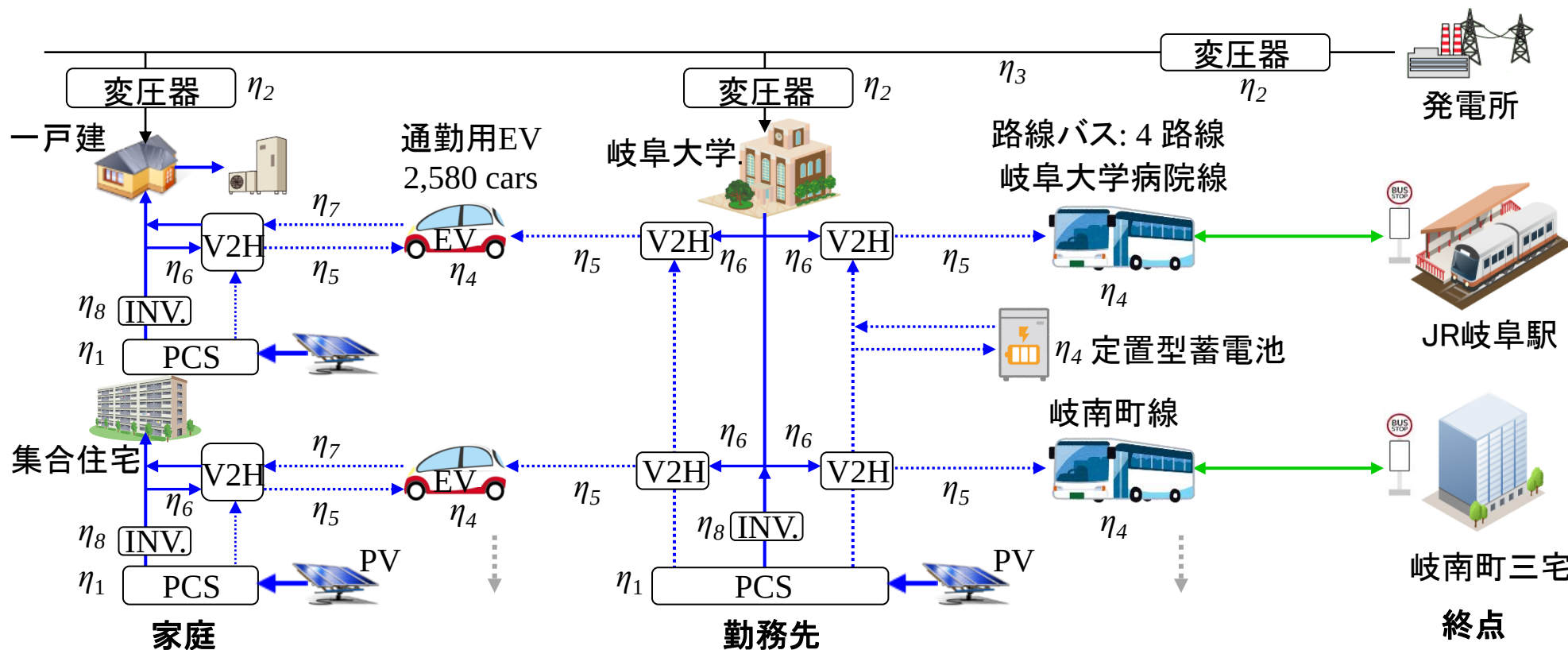
統合(大規模)バーチャルグリッド例 —岐阜大学への適用試算例—



岐阜大学を事例に、CO₂削減効果とPV電力の消費者受電フルコストを評価した。
⇒設計や制御の手法は、大学以外の様々な施設を核にしたコミュニティに適用できる。

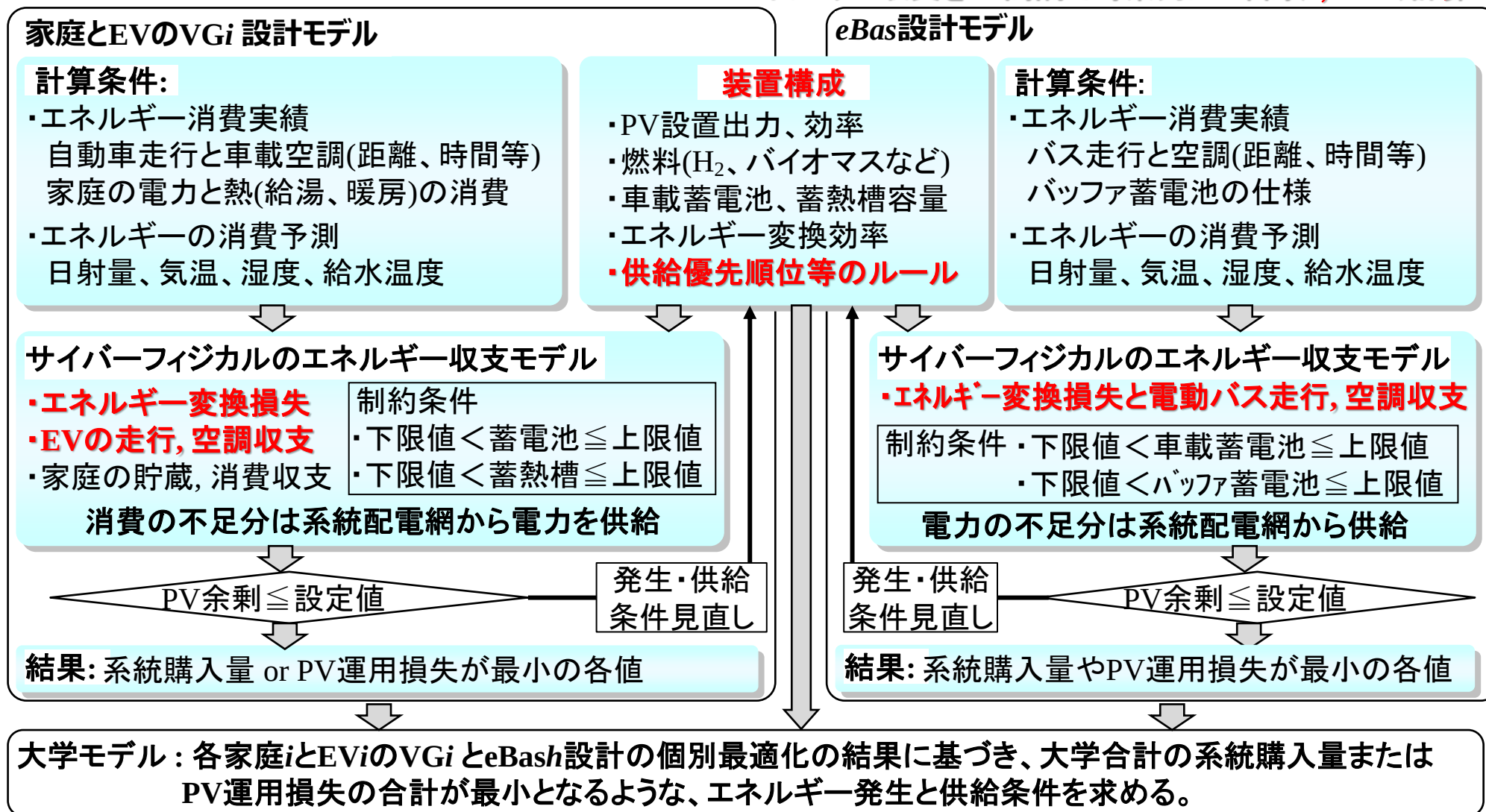
統合バーチャルグリッドのモデル化 —シミュレータによる設計イメージ—

—: 交流電力(AC) : 直流電力(DC) $\eta_1 \sim \eta_8$: 機器効率(実測値)

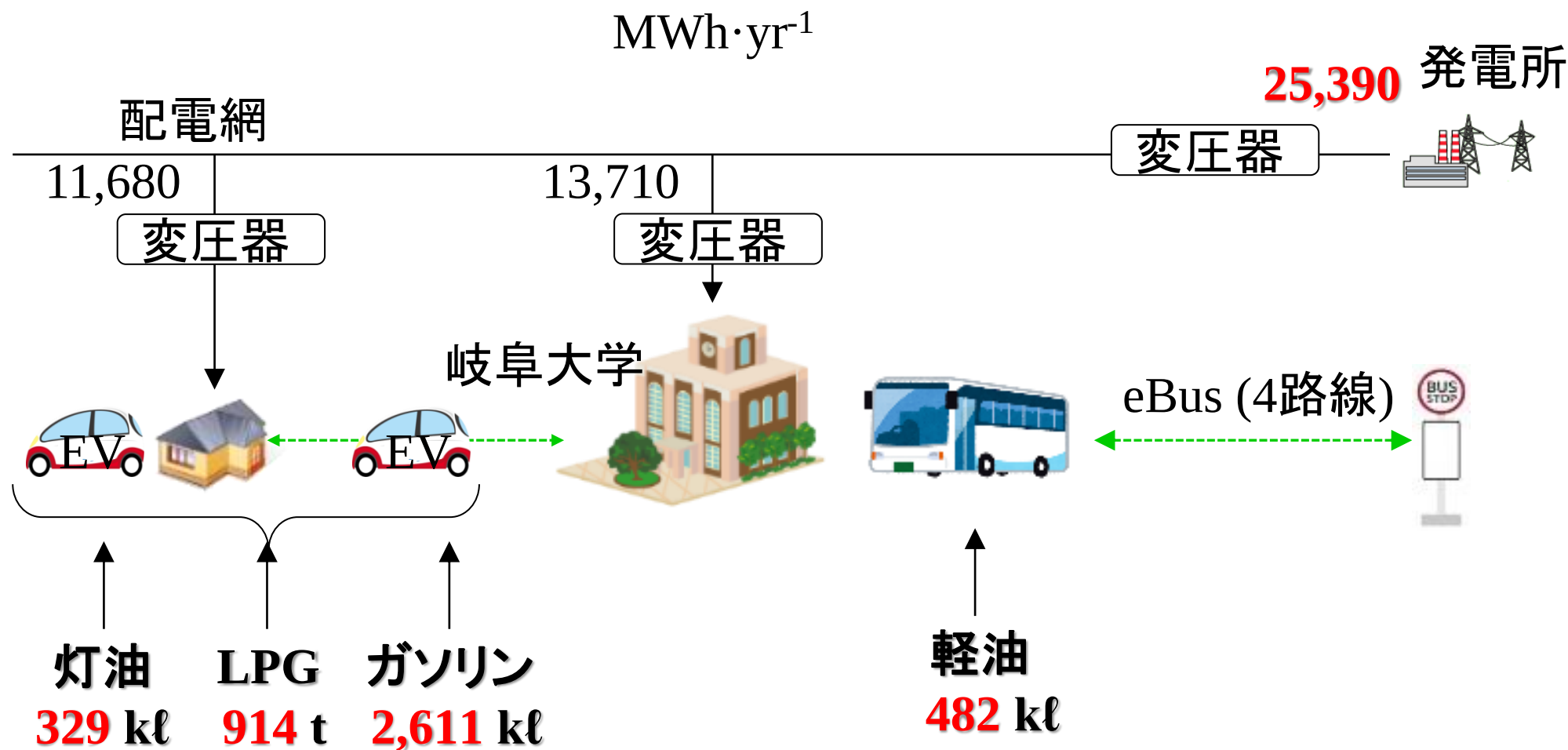


「EMSシミュレータ」と「実消費データ」に基づく最適設計・運用の提案
実機の電力変換効率や機器効率を反映した実装レベルの設計

エネルギー収支を1h間隔で時系列に1年間(8,760h)計算



- ・PV電力の余剰損失と供給損失の最小化
 - ・配電に必要な装置の最小化
- ⇒ **PV発電コストと購入電力量の最小化**

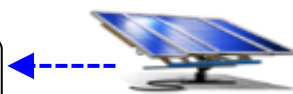


従来の系統によるPV電力供給 —シミュレーション結果 I—

— 電力(AC) - - - - 電力(DC)

MWh·yr⁻¹

余剰電力 **6,650**

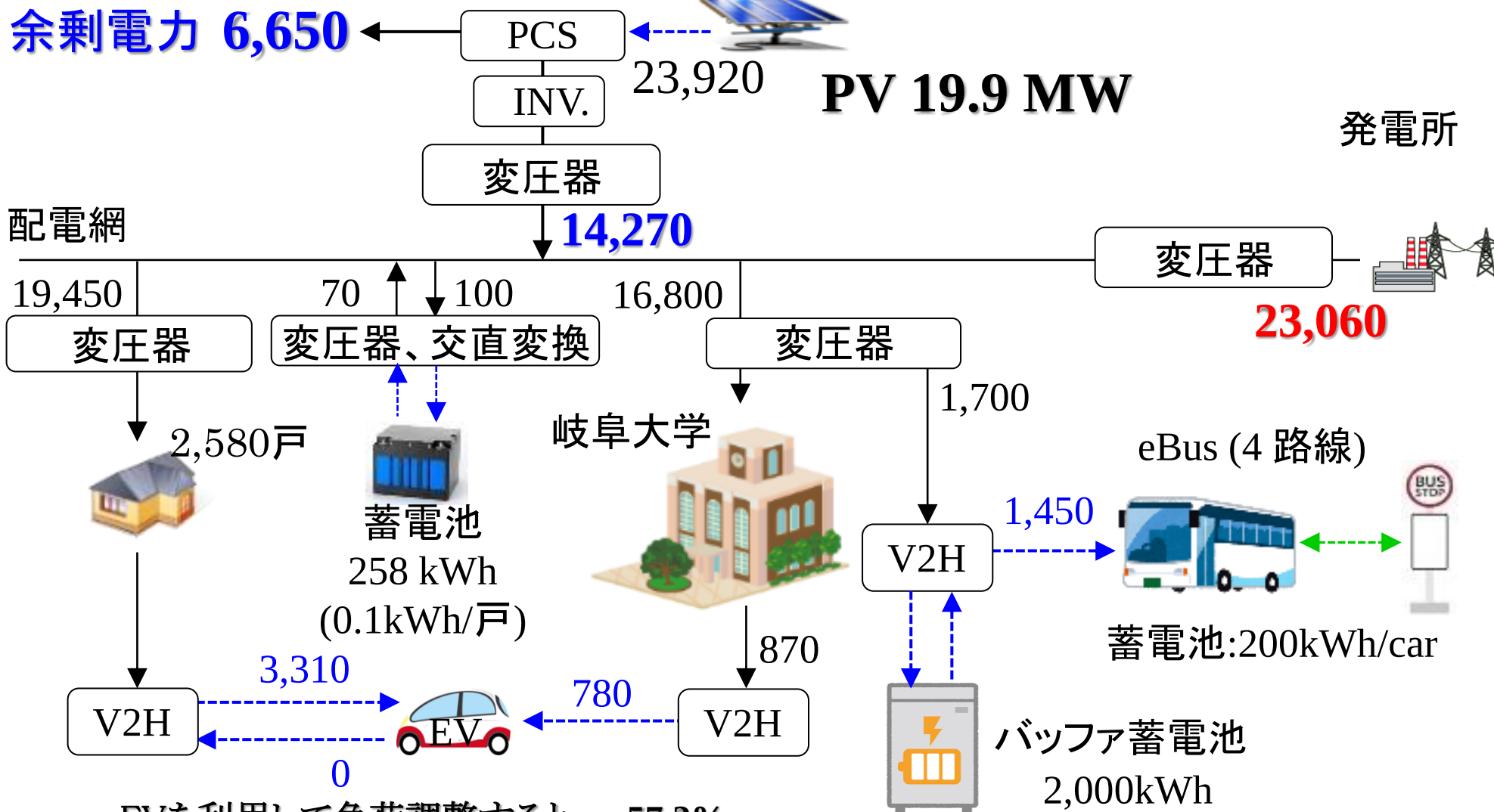


23,920

PV 19.9 MW

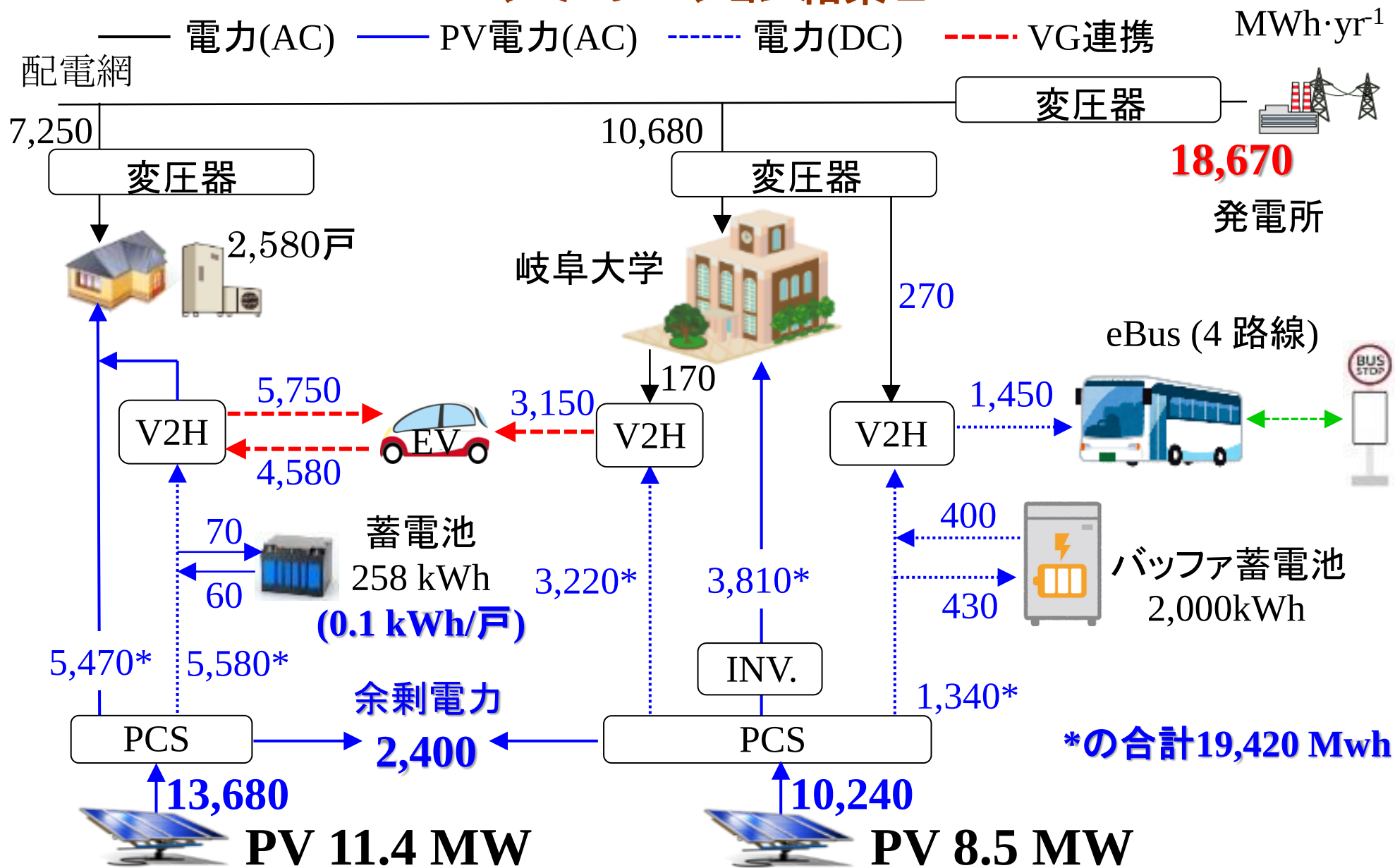
発電所

配電網

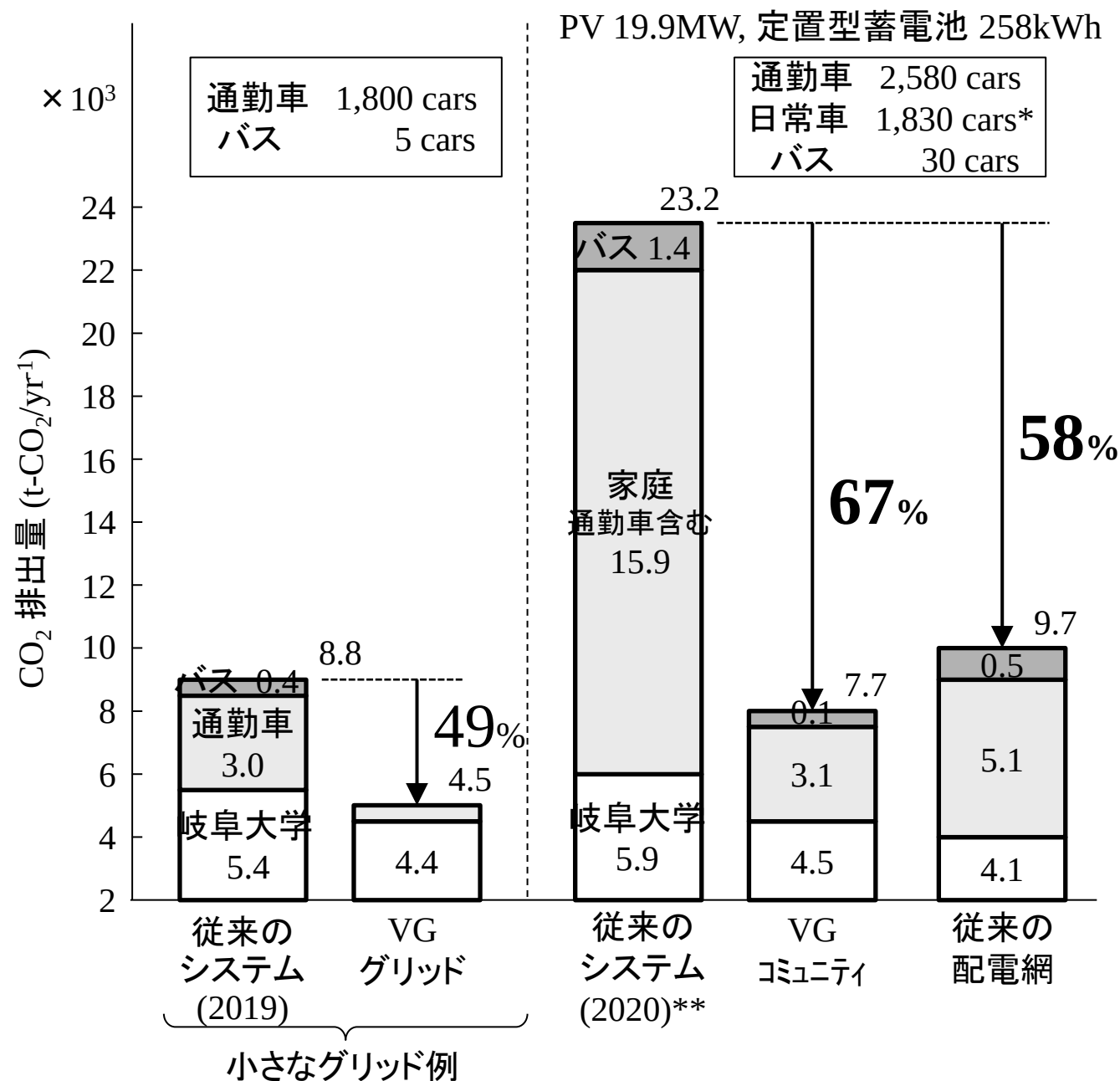


EVを利用して負荷調整すると $\eta = 57.2\%$
⇒効率が著しく下がるため充電のみとした

統合バーチャルグリッドシステム —シミュレーション結果Ⅱ—



同じPV能力でも、系統発電所からの電力供給量に大きな差ができる。



統合バーチャルグリッドでは67%のCO₂削減⇒最適化で更に効果は拡大する

導入効果の試算例

年間合計の太陽光発電の余剰発生率<10%とした場合のCO₂削減率

	CO ₂ 削減率 (%)	導入前の エネルギー使用量 (電力:MWh/年) (燃料:GJ/年)	導入後の エネルギー使用量 (電力:MWh/年) (燃料:ゼロ化)	PV 出力 (kW)	蓄電容量 (kWh)	電動車への PV充電量 (MWh/年)	消費電力 中のPV 電力比率 (%)
①電動フォークリフトと工場 ⁴⁾	45	系統電力: 306 化石燃料:1725	系統電力:289 PV電力: 93	110	蓄電: 624	33	24.3
②蓄電池電車 ⁵⁾	56	化石燃料:19,400	系統電力:1,060 PV電力: 460	460	蓄電:1,260	400	30.3
③電動路線バス ⁶⁾	83	化石燃料:5,330	系統電力:140 PV電力:280	280	蓄電:1,800	280	66.7
④一戸建住宅 ⁷⁾ (通勤車+日常車)	85	系統電力: 4.4 化石燃料:68.0	系統電力:2.0 PV電力:7.6	8.0	蓄熱:14 蓄電:56	4.1	79.2
④マンション(日常車) ⁷⁾	79	系統電力: 4.8 化石燃料:39.9	系統電力:2.0 PV電力:5.8	5.6	蓄熱:14 蓄電:40	2.9	74.4
④アパート(通勤車) ⁷⁾	78	系統電力: 1.8 化石燃料:13.9	系統電力:0.7 PV電力:2.3	3.6	蓄熱:14 蓄電:40	1.4	76.7
⑤大学、電動路線バスおよび住宅統合化 ⁸⁾	67	系統電力: 25,390 化石燃料:180,810	系統電力:18,670 PV電力:21,520	19,900	蓄熱: 36,120 蓄電:182,400	10,170	53.5
L社と通勤者(200人)住宅統合化	70	系統電力: 5,700 化石燃料:19,290	系統電力:3,140 PV電力:5,530	5,350	蓄熱:23,270 蓄電:29,210	1,710	63.8
M社と通勤者(420人)住宅統合化	81	系統電力: 2,040 化石燃料: 5,050	系統電力: 780 PV電力:2,260	2,100	蓄熱: 2,800 蓄電:16,180	1,240	74.3

**化石燃料ゼロ、消費電力のPV代替率 $\geq 60\%$ 、CO₂削減率70~85%、単純投資回収 ≤ 10 年
⇒勿論、経済性を考えなければCO₂削減100%は可能だが・・・。**

実用化に向けた課題

●バーチャルグリッドの設計・運用技術の普及

・シミュレーションツールの提供と普及(誰でもできる化)

⇒PVなどを適当に配置し、運用しても期待する効果は得られない。
都市部、郊外地域、設置地方などで最適な条件が異なる。

・勤務先(法人)側から見た最適化の推進

⇒過去の経験による思い込みや拒否反応の払拭
自動車の通勤手当をエネルギーコストと考える法人は殆どない

●効果の実証、装置のコスト削減技術開発

岐阜大学では、2022年7月～家庭バーチャルグリッドの実証実験開始

●装置と制御のパッケージ化と安価化

・エネルギー消費市場 $\geq$ 60兆円/年(国内)

⇒設備投資(装置と制御)の市場規模はこの7～8倍



岐阜大学と正木官舎間で最小単位のバーチャルグリッドを設置
⇒EVを通勤と日常用途に使い，実際に生活する(2022年7月～)

企業への期待

- 普及拡大には、**様々な用途に対する設計、運用、制御技術の確立が必要**
⇒ある業種で確立できれば、同じ仕組みを同業者へ提供できる。
- 特に、下記業種は本技術が極めて有効と考えられ、共同研究を希望。
 - ①自家用EV、電動バス、電動トラック、蓄電池電車、電動建設機械、電動農機具などの**製造技術を持つ企業**。
 - ②公共交通機関(バス、タクシー会社)、運送業、宅配業(洗濯、食品、コンビニなど)、建設業などの**車両運用技術を持つ企業**。
 - ③一般企業、工場、大学、官庁などで、**低コストでカーボンニュートラルの柱となる仕組みを構築したい企業**。
 - ④**従来とは異なるエネルギープロバイダー事業を考えている企業**。

本技術に関する知的財産権

- ・ 発明の名称 : エネルギーシステムおよび
授受調整方法
- ・ 出願番号 : PCT/JP2020/044184
公開番号 : W0 2021/111997 A1
- ・ 出願人 : 国立大学法人東海国立大学機構
- ・ 発明者 : 中川二彦、千阪秀幸

産学連携の経歴

- 2010－2015年 JST先導的創造科学技術開発費補助事業
森と人が共生するSMART工場モデル実証
- 2018－2022年 JSPS 基盤研究B
交通とエネルギーの統合化システムに関する研究
- 2019年 ニチコン株式会社と共同研究Ⅰ
- 2022年－ レジップホールディングス株式会社と共同研究
- 2022年－ ニチコン株式会社と共同研究Ⅱ

お問い合わせ先

岐阜大学

学術研究・産学官連携推進本部

TEL: 058-293-2034

Mail: sangaku@gifu-u.ac.jp

ご清聴ありがとうございました