



# 『高効率電力変換器が拓く電力化社会の夢： 直流配電・再生可能電力貯蔵』

河村 篤男

(横浜国立大学寄付講座教授, 日本学会議連携会員, 電気学会Fellow)

# 高効率電力変換器が拓く電力化社会の夢: 直流配電・再生可能電力貯蔵

---

## キーワード

高効率電力変換器  
直流配電  
再生可能電力貯蔵

河村篤男  
横浜国立大学

寄附講座(パワーエレクトロニクス)

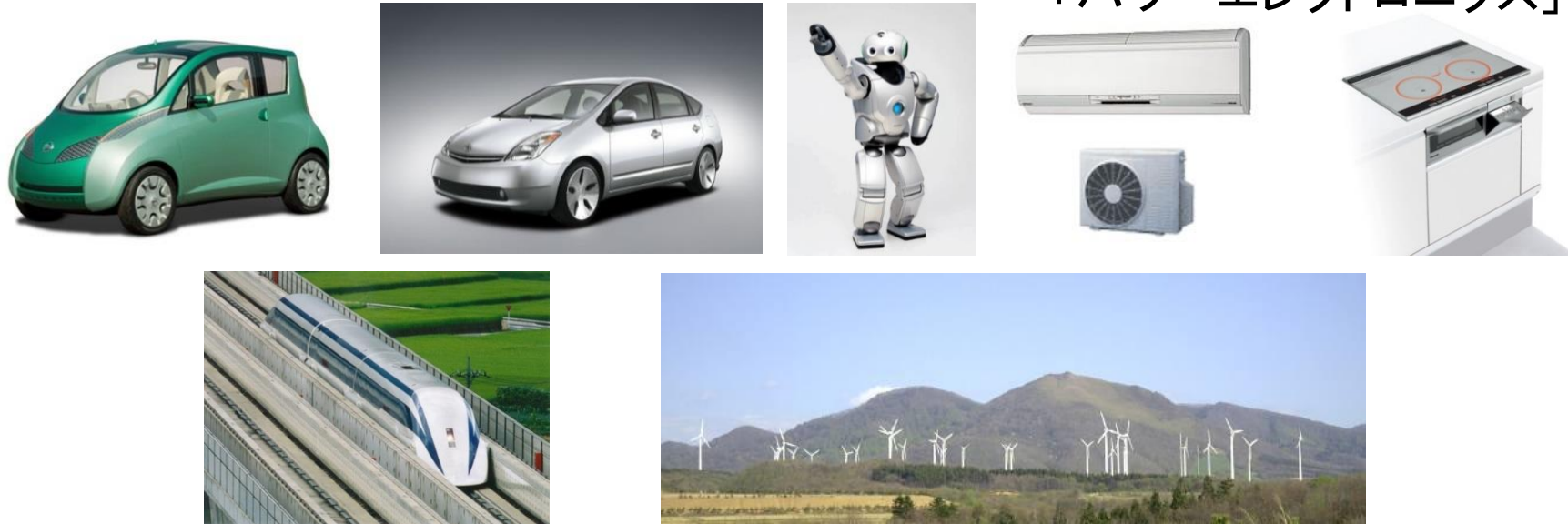


# 電気エネルギーの変換と「効率」

電気エネルギーを使うものは  
**ほぼ必ず電力変換が必要**



パワー半導体デバイスをスイッチとして  
 用いて電力を変換する ⇒ 学問分野  
 「パワーエレクトロニクス」



電気エネルギーの形の変換(⇒“電力変換”と呼ばれる)

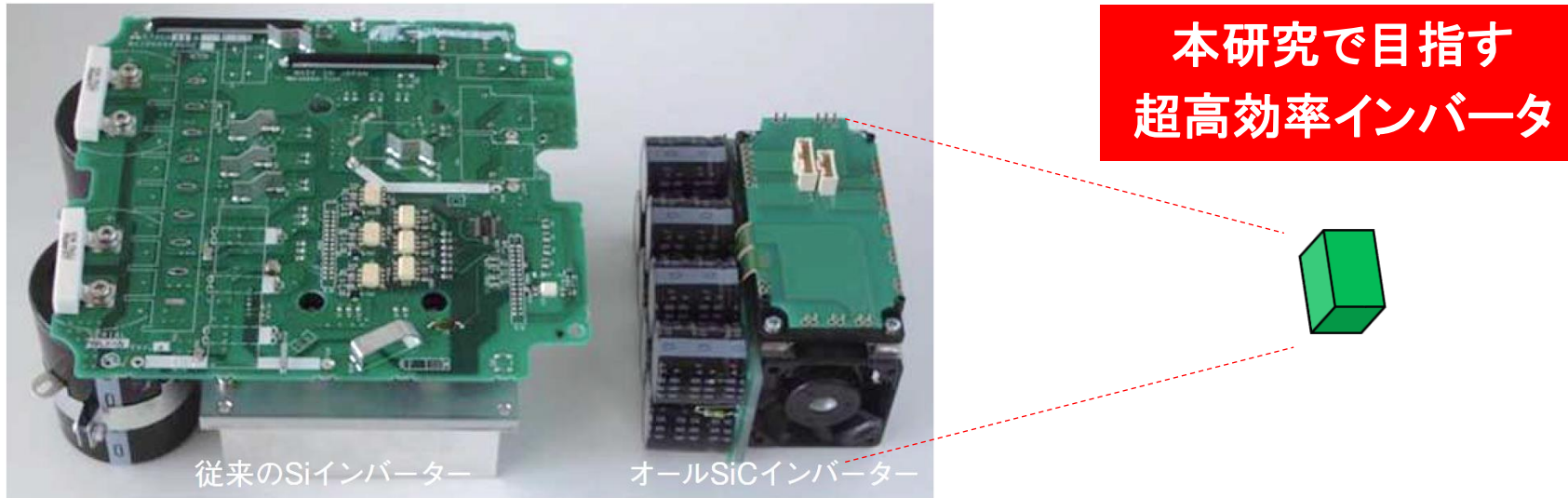
- 直流⇒交流(インバータ)
- 交流⇒直流(整流器)
- 直流⇒直流(昇降圧チョッパ)

半導体デバイス等で「損失」が発生  
 →「効率」の概念

# 効率99.9%のインパクト

損失が少ない → 発熱が少ない → **小型軽量**

太陽光発電用11kWインバータの比較



効率96.1%      効率98.8%      効率99.9%  
損失3.9% (434W)      損失1.2% (130W)      損失0.1% (11W)

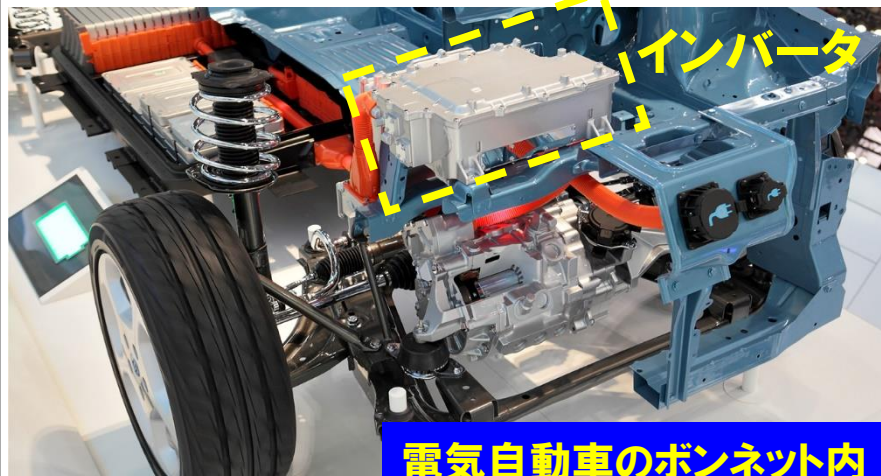
損失3分の1  
→ 体積3分の1

損失10分の1  
→ 体積10分の1

この高い水準では、たとえ0.1%の効率向上でも非常に大きな意味を持つ

# 効率99.9%の電力変換がもたらす未来

## ①EV—充電走行距離の延伸



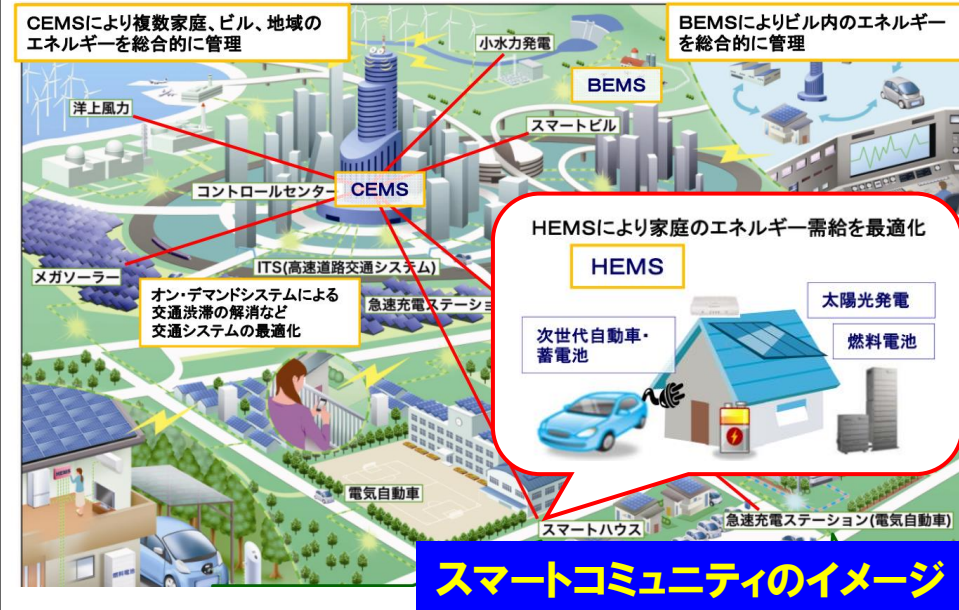
電気自動車のボンネット内

- インバータの超小型軽量化
- 水冷装置の排除

➡ 合計で50kg程度の軽量化が可能  
効率向上 & 車体軽量化の相乗効果

—充電走行距離の大幅延伸

## ②持続発展可能グリーン社会



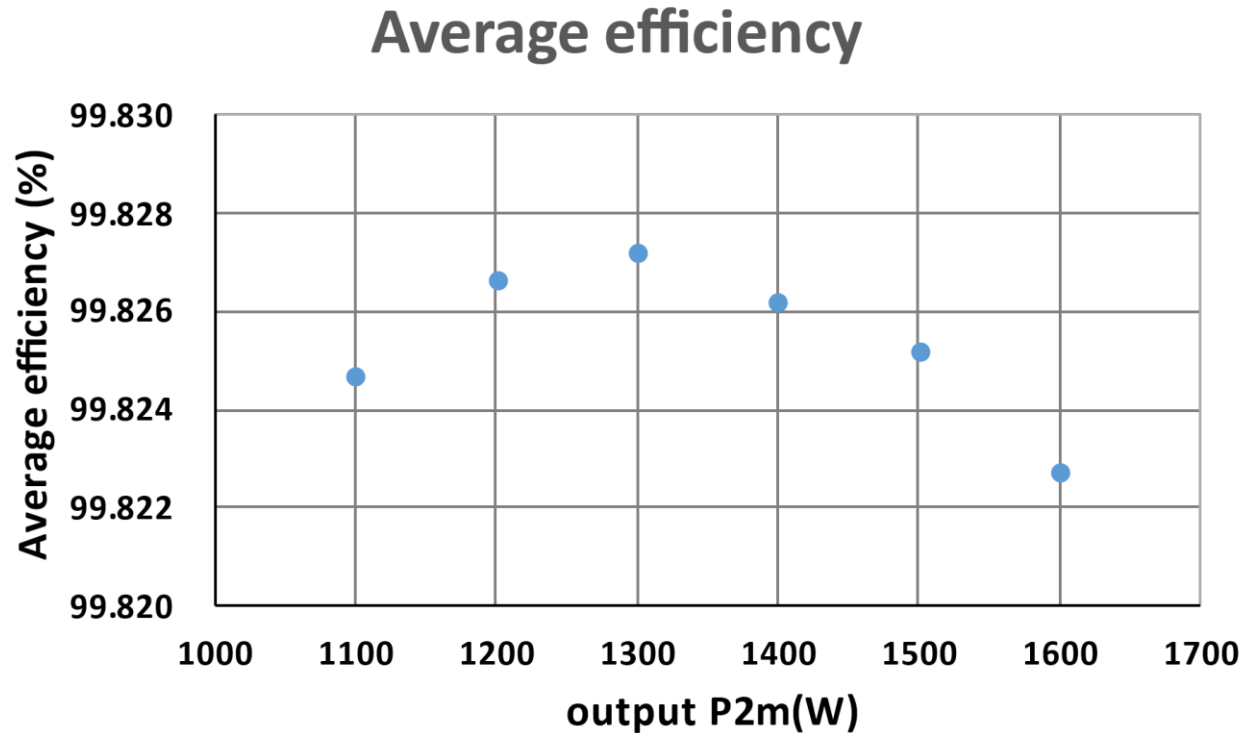
スマートコミュニティのイメージ

➡ 従来の電力往復による 1割の損失がほぼ0

- エネルギーロスのない電力網

フレキシブルな電気エネルギーの融通

# 高効率電力変換器の実用化が広まると？



研究レベルでは、  
効率99.83%が  
達成

実は、分解能の良い  
測定法が目新しい！

Fig. インバータの最高効率測定 (研究レベル)

Efficiency of SiC-HEECS inverter with improved gate drivers  
( $R_{g2}=R_{g4}=2.8\Omega$ ,  $C_{2ext}=C_{4ext}=4700\text{pF}$ ,  $R_{g1}=R_{g3}=5\Omega$ ,  $C_{1ext}=C_{3ext}=0$ )  
(measured by VTASLM) (1)A. Kawamura et al IEEJ-TEEE 2023.1  
ル)

A. Kawamura, et al, "Survey of 99.9% Class Efficiency DC-AC Power Conversion and Technical Issues", IEEJ Trans. on Electrical and Electronics Engineering, Vol.18, No.1, pp.6-14, 2023, doi.org/10.1002/tee.23728

# 1. 河村の夢：新電力配電網の可能性

---

既存の送配電網：50 or 60Hzでの交流での送配電

⇒ メリット：変圧器の利用

高効率電力変換器の技術革新により

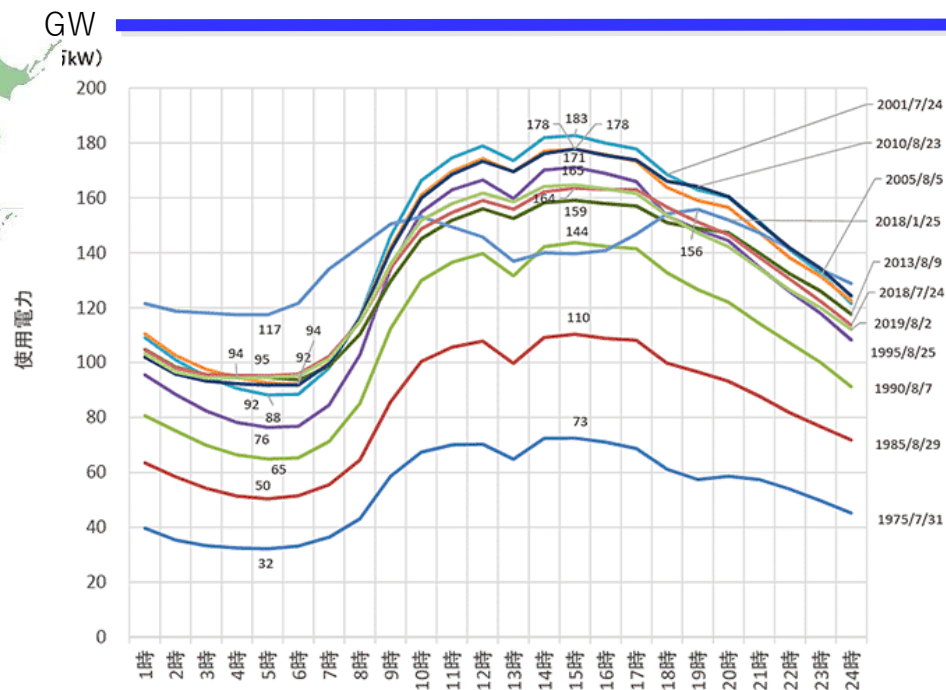
⇒ 高効率**直流変圧器**が実現可能（99.9%級）

**直流での送配電**が効率面だけを考慮すれば、実用化が可能。

メリット：送電容量の増大、変圧器の小型軽量化、  
整流器の削減など

デメリット：システム構築のコスト

## 2. 河村の夢：遠い将来のエネルギーシステム形態



全日本の1日の電力消費の時間変化

仮定：1日の日本の全電力使用量(エネルギー：wh)が、すべて貯蔵できるくらい大きな、電力貯蔵システムが存在すると仮定すると(夢)、  
(約120GW × 時間数 ÷ 3TWh/日)



- (1) 日中は、日本中の再生可能エネルギーの発電電力をその地域の電力貯蔵システムに1日分だけ蓄える
- (2) 夜間になって、蓄えたエネルギーを電力消費地の近くの別の電力貯蔵システムへ移す。
- (3) 日中は、この貯蔵した電力を放電して、その地域の電力消費を賄う。(これを繰り返す)
- (4) 十分大きな電力貯蔵システムと、高効率電力変換器があれば、実現可能(遠い将来)。

⇒ エネルギー蓄積要素の候補：

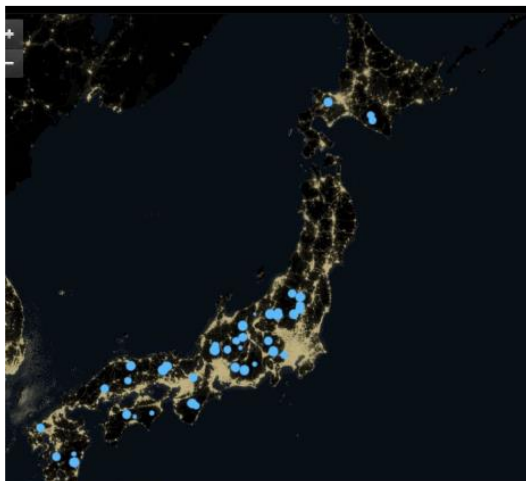
- ・ バッテリー (小型軽量、劣化する)
- ・ 揚水発電 (建設費が高価、長寿命)
- ・ 水素(燃料電池などの燃料として利用)
- ・ その他

⇒

揚水発電と高効率インバータの組み合わせの例を次ページで検討！



# 揚水発電所 + 高効率インバータ駆動モータと発電機



## 揚水発電

44 sites / 27.50GW

発電設備容量 (2021.11)



## 水力発電

2469sites/ 22.70GW



## 火力発電

286sites/ 143.00GW

Map of Japan

### この夢実現の重要技術

**エネルギー蓄積システムと  
高効率電力変換器 (99.9%級)**

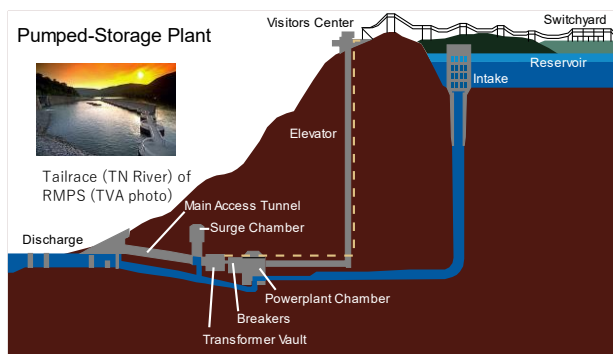


Diagram of the TVA pumped storage facility at Raccoon Mountain Pumped-Storage Plant in Tennessee, United States  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Pumped-storage\\_hydroelectricity](https://en.wikipedia.org/wiki/Pumped-storage_hydroelectricity)

バイオマス 936sites / 29.00GW

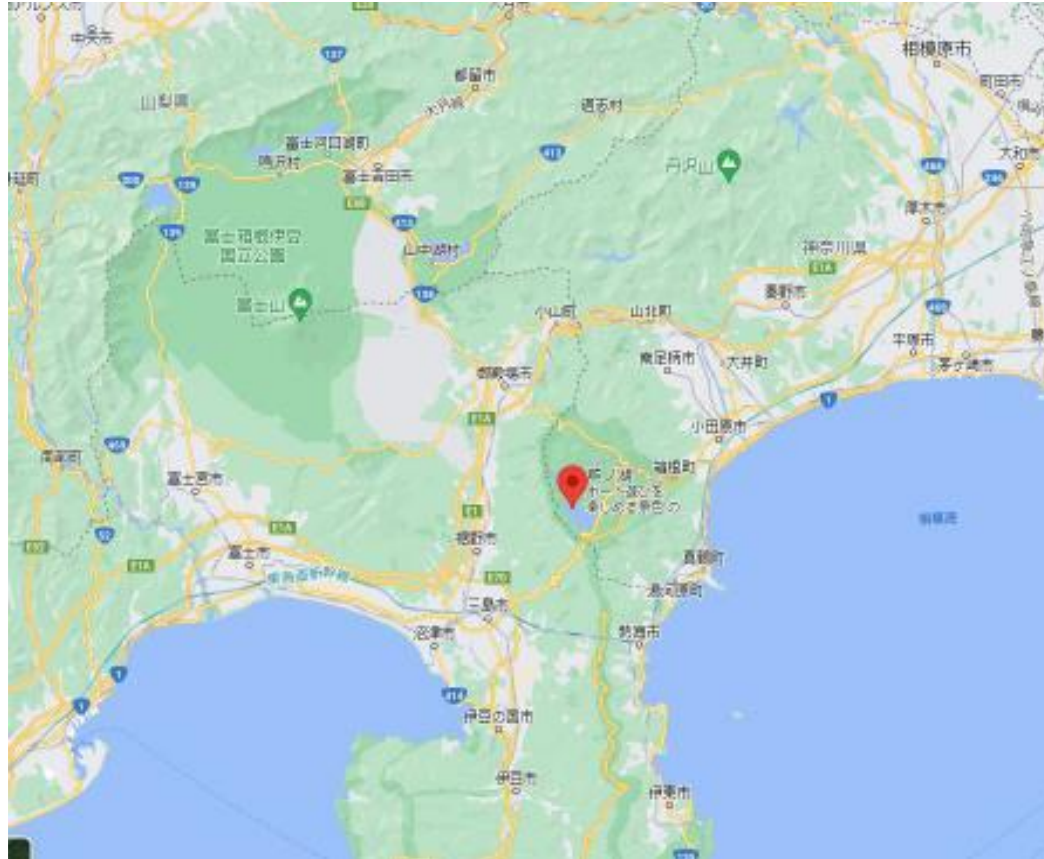
地熱発電:88sites / 0.50GW

風力発電:455sites /5.50GW

太陽光発電:12700sites / 34.00GW

原子力:17sites / 49.00GW)

# 再生可能電力貯蔵 — 可能性



一例：

芦ノ湖—山中湖—河口湖  
(既存の湖を利用する)

問題点：

- ①湖面の水位の変動
- ②連結水路の建設
- ③発電機—モータの連係動作
- ④コスト
- ⑤その他（景観など）

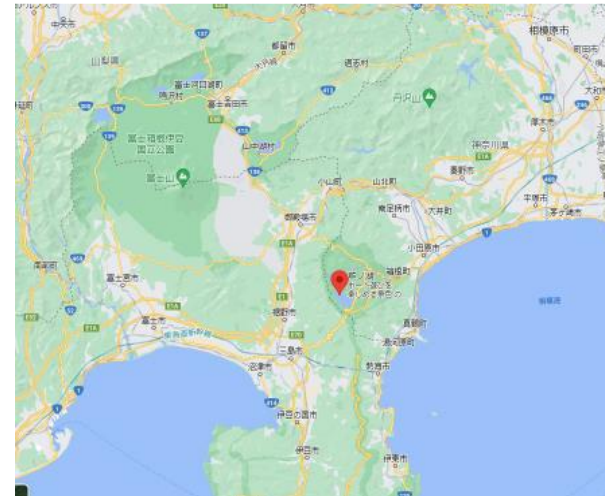
<https://www.google.co.jp/maps/place/%E8%8A%A6%E3%83%8E%E6%B9%96/@35.2765,138.7758031,10.21z/data=!4m5!3m4!1s0x601998e92ba83fa1:0x497a3af0502de2cb!8m2!3d35.2095674!4d139.0034626?hl=ja>

# 再生可能電力貯蔵 — 計算例 1 (追加のppt)

表1 湖のデータ (面積と湖面の標高)

表1 湖のデータ

名称	面積(km <sup>2</sup> )	湖面の標高(m)
芦ノ湖	7	723
山中湖	6.6	980
河口湖	5.5	833
レマン湖	580	372
マシャテル湖	218	429



芦ノ湖—山中湖—河口湖  
(既存の湖を利用する)

## ケース1：芦ノ湖と山中湖の例

芦ノ湖の面積 $S=7\text{km}^2$ 、芦ノ湖と山中湖の高低差 $\Delta h=257\text{m}$ 、芦ノ湖の1m水深分の水を山中湖に移動してその位置エネルギーがすべて電気エネルギーに変換されると仮定すると、そのエネルギー $E$  (芦ノ湖—山中湖) は、

$$E (\text{芦ノ湖—山中湖}) = 7 \times 10^9 \times 257 \times g \cong 7 \times 2.57 \times 10^{9+2+1} \cong 1.8 \times 10^{13} (\text{J}) \quad \text{----(6)}$$

(コメント1) **これは、100万kWhの約5倍(=18/3.6)となる。**

## ケース2：レマン湖とマシャテル湖 (スイス) の例

$$E (\text{レマン湖—マシャテル湖}) = 580 \times 10^9 \times 57 \times g \cong 5.8 \times 5.7 \times 10^{2+9+1+1} \cong 3.3 \times 10^{14} (\text{J})$$

(コメント2) **これは、100万kWhの約100倍( $\cong 330/3.6$ )となる。**

END

# 再生可能電力貯蔵 — 計算例 2 (追加のppt)

表2 その他の湖

名称	面積(km <sup>2</sup> )	湖面の標高(m)
摩周湖	19	355
屈斜路湖	80	121
支笏湖	78	247
洞爺湖	70	84



摩周湖と屈斜路湖  
支笏湖と洞爺湖

(既存の湖を利用する)

(ケース3) 摩周湖と屈斜路湖 (北海道) の例

摩周湖の面積 $S=19\text{km}^2$ 、摩周湖と屈斜路湖の高低差 $\Delta h=234\text{m}$ 、摩周湖の1m水深分の水を屈斜路湖に移動してその位置エネルギーがすべて電気エネルギーに変換されると仮定すると、そのエネルギー $E$  (摩周湖—屈斜路湖) は、 $E$  (摩周湖—屈斜路湖)  $= 19 \times 10^9 \times 224 \times g \cong 1.9 \times 2.24 \times 10^{1+9+2+1} \cong 4.3 \times 10^{13}(\text{J})$  ----(6)

(コメント3) **これは、100万kWhの約12倍(=43/3.6)となる。**

(ケース4) 支笏湖と洞爺湖 (北海道) の例

支笏湖の面積 $S=78\text{km}^2$ 、支笏湖と洞爺湖の高低差 $\Delta h=163\text{m}$ 、支笏湖の1m水深分の水を洞爺湖に移動してその位置エネルギーがすべて電気エネルギーに変換されると仮定すると、そのエネルギー $E$  (支笏湖—洞爺湖) は、 $E$  (支笏湖—洞爺湖)  $= 78 \times 10^9 \times 163 \times g \cong 7.8 \times 1.63 \times 10^{1+9+2+1} \cong 12.7 \times 10^{13}(\text{J})$  ----(6)

(コメント4) **これは、100万kWhの約35倍(=127/3.6)となる。**

# 再生可能電力貯蔵 — 付録(詳細計算)

## 2. 計算の条件のまとめ：

(2-1) 湖面の面積 $S(\text{km}^2)$ の水を水深1m分の量だけ、高低差 $\Delta h$ の場所に移動する場合の位置エネルギー $E$ を計算する。

まず、水の量 $V(\text{kg})$ を計算する。面積 $S\text{km}^2$ で水深1mの水の量 $V$ は、

$$V = S \times 1000(\text{m}) \times 1000(\text{m}) \times 10^3(\text{kg}) = S \times 10^9(\text{kg}) \quad \text{----- (1)}$$

となる。

次に、この水量を高低差 $\Delta h$ の場所に移動するので、位置エネルギー $E$ は、

$$E = V \times \Delta h \times g \quad \text{----- (2)}$$

ただし、 $g$ は重力加速度 ( $9.8\text{m/s}^2$ )

(2-2) 100万kwの電力を1時間分蓄えると、そのエネルギー $E$ (100万kWh)は、次式で計算できる。

$$\text{まず、} 1\text{kWhは、} 1000 \times 60 \times 60 = 3.6 \times 10^6(\text{J}) = 3.6\text{M}(\text{J}) \quad \text{----- (4)}$$

$$\text{次に、} E (100\text{万kWh}) = 100 \times 10^4 \times 3.6 \times 10^6 = 3.6 \times 10^{12}(\text{J}) \quad \text{----- (5)}$$

## 3. ケーススタディ (表参照)

(3-1) 芦ノ湖と山中湖 (箱根、神奈川県) の例

芦ノ湖の $S=7\text{km}^2$ 、芦ノ湖と山中湖の高低差 $\Delta h=257\text{m}$ 、芦ノ湖の1m水深分の水を山中湖に移動してその位置エネルギーがすべて電気エネルギーに変換されると仮定すると、そのエネルギー $E$  (芦ノ湖—山中湖) は、(1)(2)より、

$$E (\text{芦ノ湖—山中湖}) = 7 \times 10^9 \times 257 \times g \cong 7 \times 2.57 \times 10^{9+2+1} \cong 1.8 \times 10^{13}(\text{J}) \quad \text{---- (6)}$$

(コメント 1) これは、(5)で求めた100万kWhの約5倍(=18/3.6)となる。