

電気学会 公開シンポジウム
「再生可能エネルギーの活用と系統連系」

可変速揚水発電システムの 概要と導入効果について

北海道電力株式会社
倶知安水力センター発電課

齊藤 睦仁

2016年12月12日

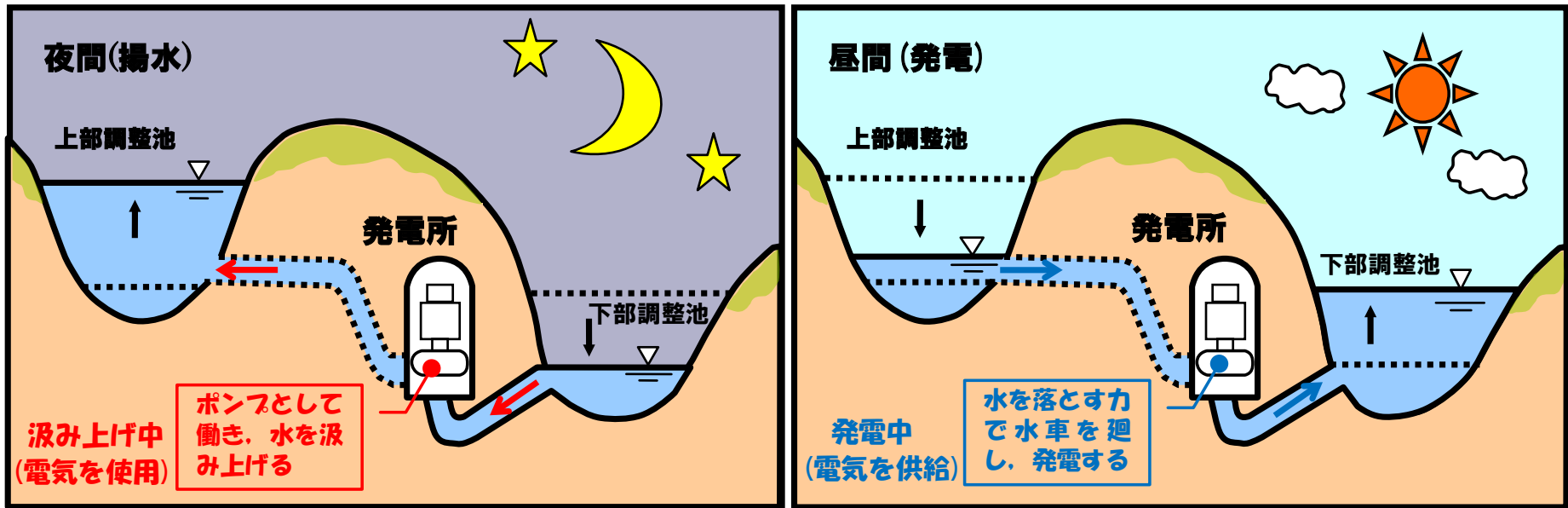


- 1. 揚水発電所とは？**
- 2. 可変速揚水発電システムの概要**
- 3. 京極発電所の概要**
- 4. 可変速揚水発電システムの導入効果**
- 5. まとめ**

1. 揚水式発電所とは？

揚水式発電とは、上部調整池と下部調整池を造り、電力消費量(需要)の少ない時間帯に、下部調整池から上部調整池へ水を汲み上げ、電力消費量の多い時間帯に上部調整池から下部調整池に水を落として発電する方式です。

揚水発電所は、電気を水の形で蓄えることができ、需要と供給の平準化により貴重なエネルギー資源を有効利用する発電所です。

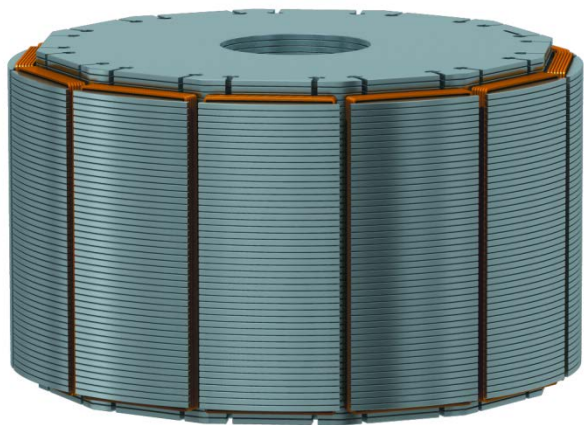


揚水式発電所のうち、上部調整池に水の流入が無い場合を純揚水式発電所といいます。

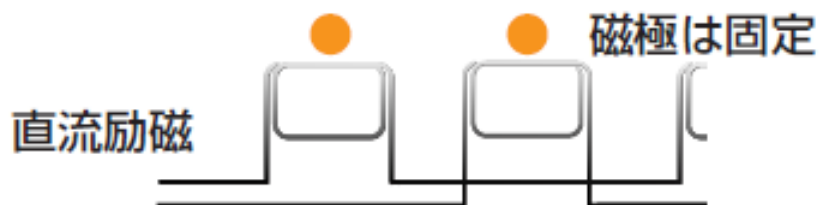
2. 可変速揚水発電システムの概要

- 定速機と可変速機の比較(回転子の構造)

- 定速機(突極形回転子)

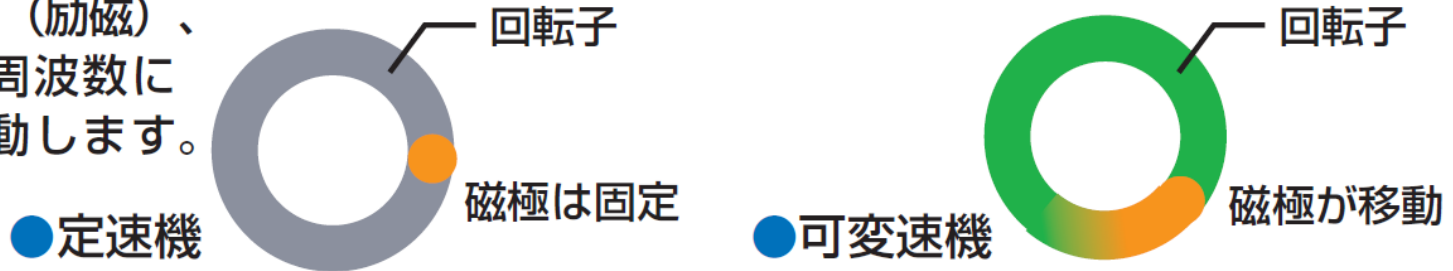


- 可変速機(円筒形回転子)

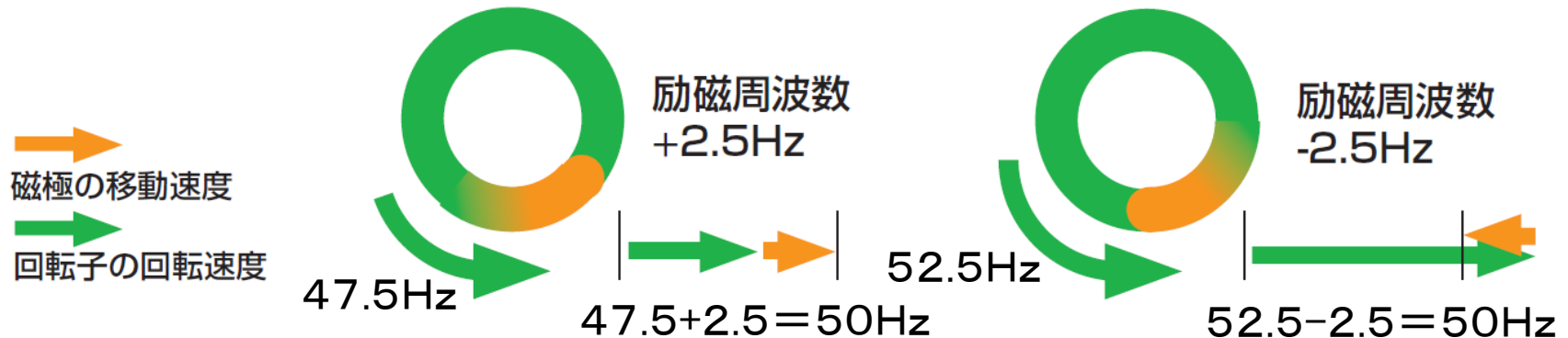


2. 可変速揚水発電システムの概要

●定速機の回転子のコイル（巻線）が、各極ごとに独立した巻線になっているのに対して、可変速機では、RST各相のコイルが全周に均一に分布しています。ここに3相交流電流を流すと（励磁）、磁極は励磁周波数にあわせて移動します。



●回転子が回転すると、磁極は回転子の回転速度+磁極の移動速度で回転します。

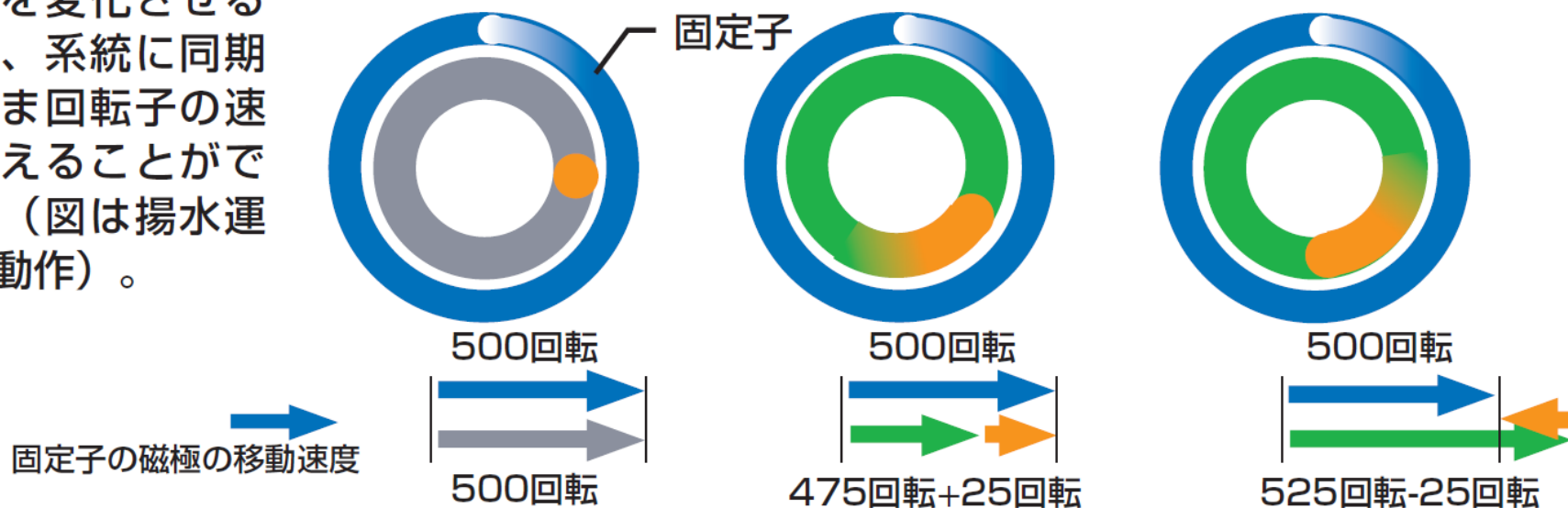


同期速度 $n = \frac{120 \times f}{P}$ [min^{-1}]

f : 系統周波数[Hz]
P : 磁極の数

2. 可変速揚水発電システムの概要

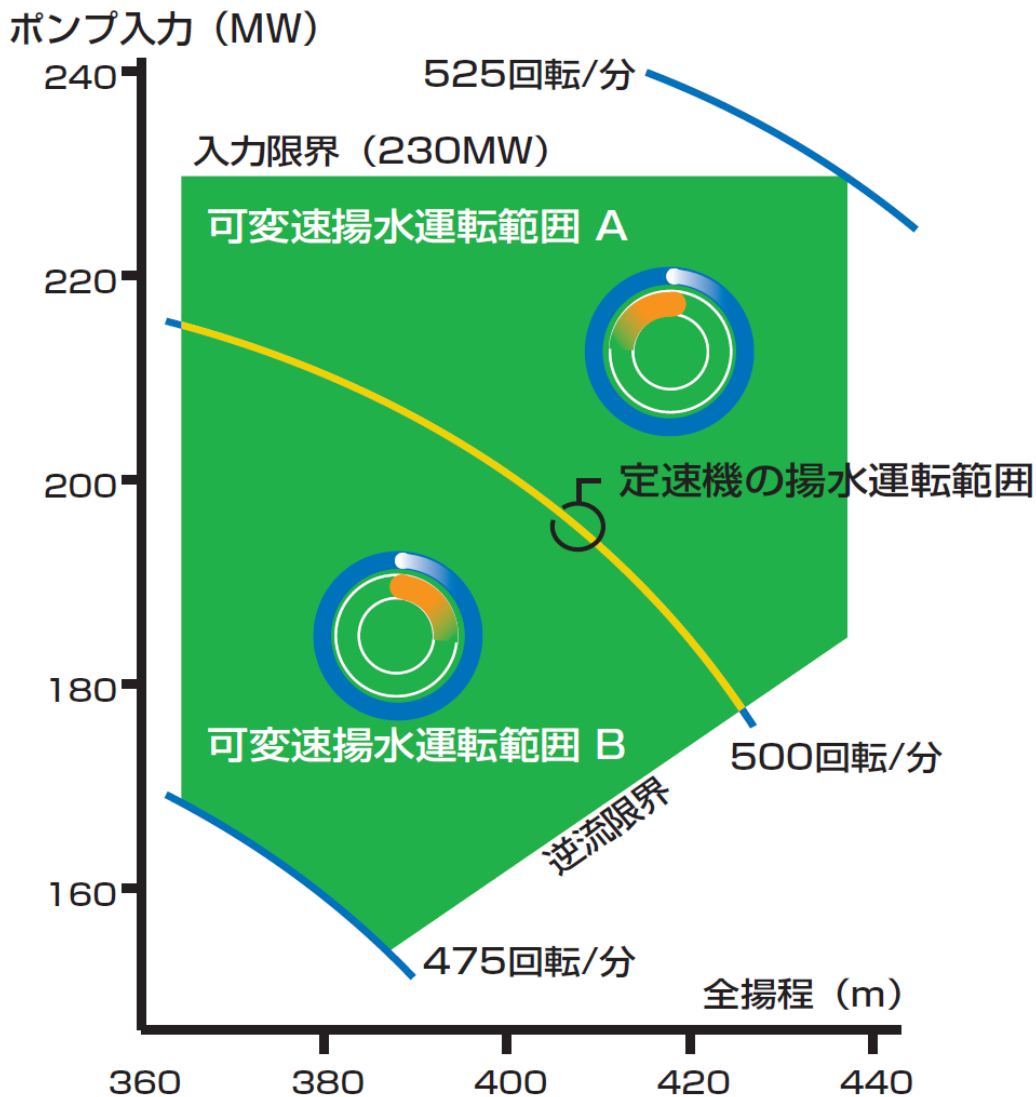
●固定子のコイルには、系統の電源周波数（50Hz）によって回転する磁極が発生します（500回転/分）。定速機ではこの速度で回転子も回転しますが、可変速機なら励磁周波数を変化させることで、系統に同期したまま回転子の速度を変えることができます（図は揚水運転時の動作）。



●可変速発電電動機の電力は回転速度の3乗に比例して増減します。可変速発電電動機なら、電力状況に応じて回転速度を変化させ、使用する電力を調整することができます。

2. 可変速揚水発電システムの概要

● 可変速揚水運転



● 定速機での揚水運転

運転時の揚程によって使用する電力が決まります。電力の調整はできません(黄色のライン上)。

● 夜間等の電力に余裕がある時 (可変速揚水運転範囲A)

使用する電力を多くするため、ポンプの回転速度を上げて運転し、電力の需給バランスを保ちます。

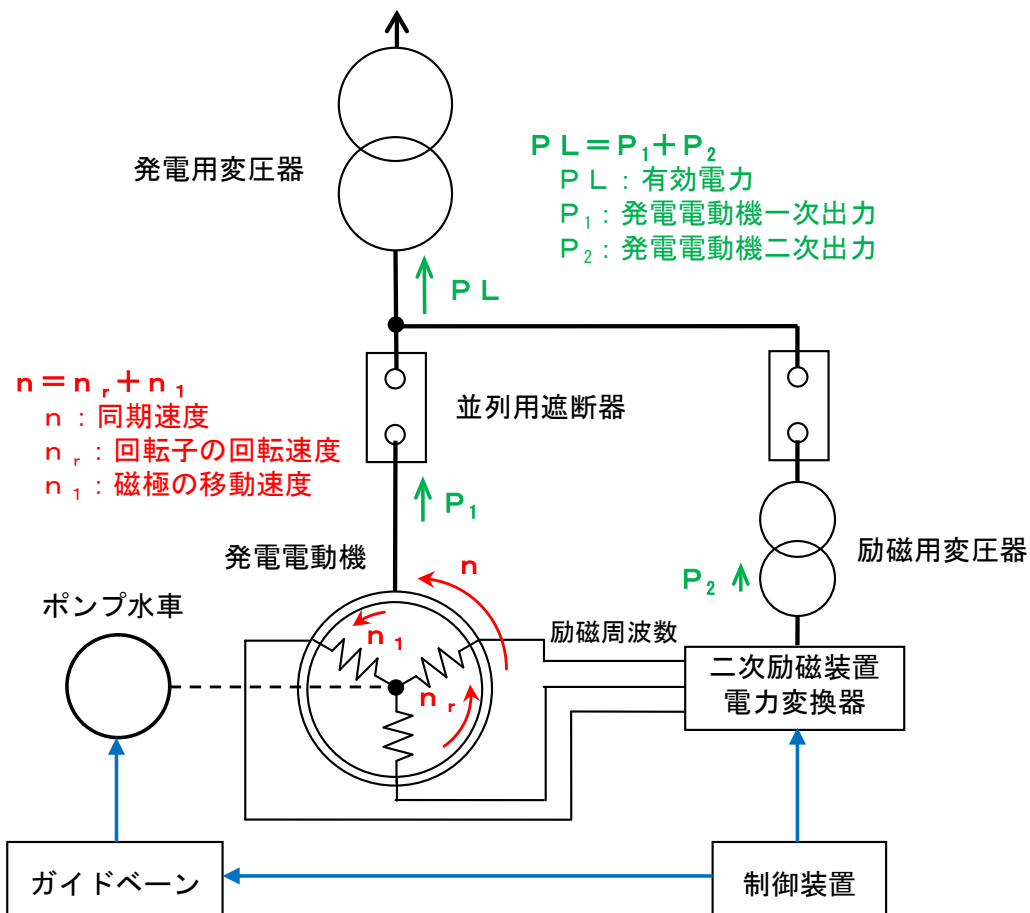
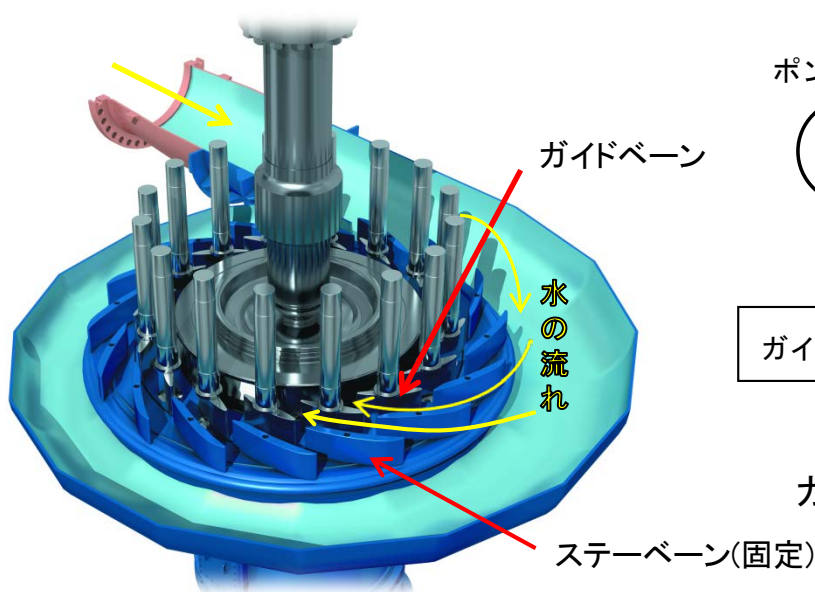
● 夜間等の電力に余裕がない時 (可変速揚水運転範囲B)

使用する電力を少なくするため、ポンプの回転速度を下げて運転します。

2. 可変速揚水発電システムの概要

● 発電運転時の電力(周波数)調整

発電運転時は、ガイドベーンの開閉で水の使用量を変化させ電力(周波数)調整を行います。また、可変速機のため励磁周波数を瞬時に変化させることができるため、電力系統の瞬間的な電力調整も可能です。



ガイドベーン: ポンプ水車ランナに導水する水口の調整機構

2. 可変速揚水発電システムの概要

		定速機	可変速機
揚水運転	①揚水AFC調整	×	○
	②GF運転	×	○
	③高速GF運転	×	○
発電運転	①発電AFC調整	○	○
	②GF運転	○	○
	③高速GF運転	×	○

①AFC (自動周波数調整)	中央給電指令所システム(自動演算)の指示により, 数分~20分程度で変動する負荷調整ため発電電動機の入出力を制御。
②GF(ガバナフリ-)	回転速度を一定に保つ調速機が系統周波数の変動に追従することにより, 数十秒程度の短時間で変動する負荷調整のため発電電動機の入出力を制御。
③高速GF	可変速制御装置が系統周波数の変動に追従し, 秒オーダーで変動する系統負荷の調整のため発電電動機の入出力を制御。

* 二次励磁装置で電力のやり取りを高速に行なうことができるため, 消費電力の変動や再生可能エネルギーの出力変動への対応が瞬時にできることから, 電気の品質に大きく寄与できます。

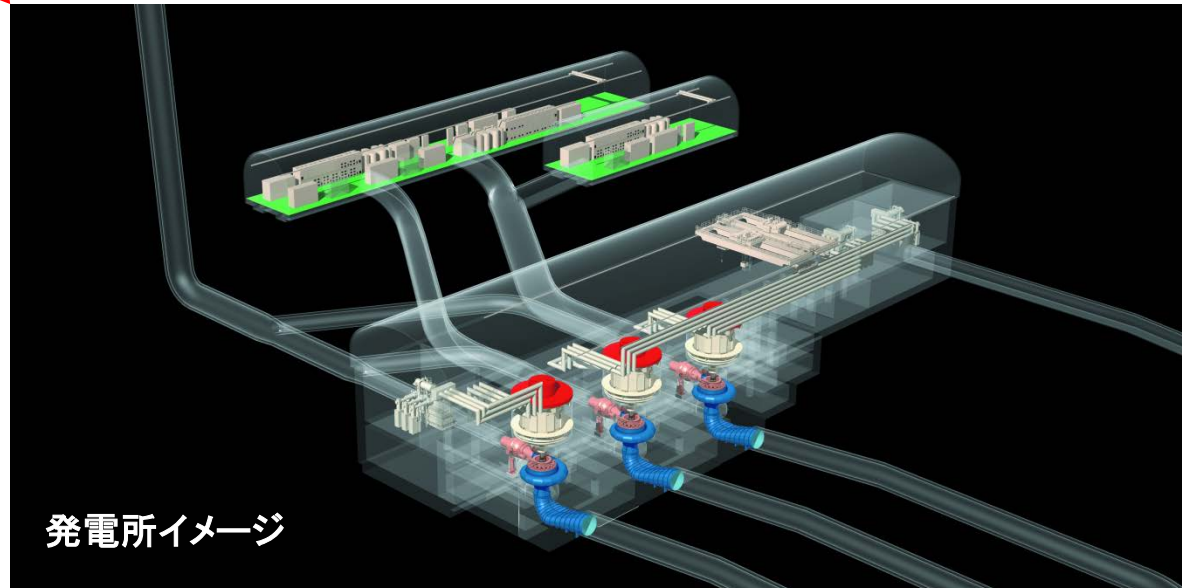
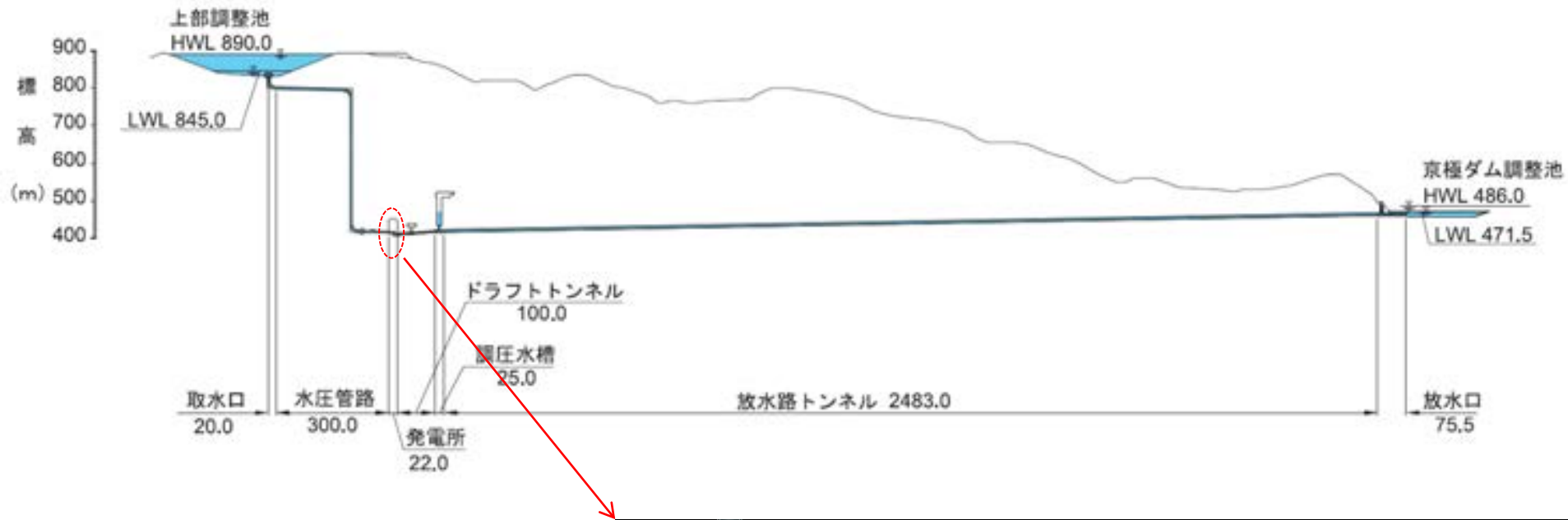
3. 京極発電所の概要

京極発電所は、札幌市から西へ約70kmの距離にある虻田郡京極町北部にふたつのダム(調整池)を建設し、その高低差約400mを利用して、3台の水車・発電機により最大60万kW(20万kW×3台)の発電を行う、北海道で初めての純揚水式発電所です。



所在地	北海道虻田郡京極町字春日
発電方式	水力(ダム水路式, 純揚水)
最大出力	600,000kW(200,000kW×3台)
使用水量	190.5m ³ /s
有効落差	369.0m
運転開始	2014年10月1日(1号機, 20万kW) 2015年11月1日(2号機, 20万kW) 2026年度以降(3号機, 20万kW)

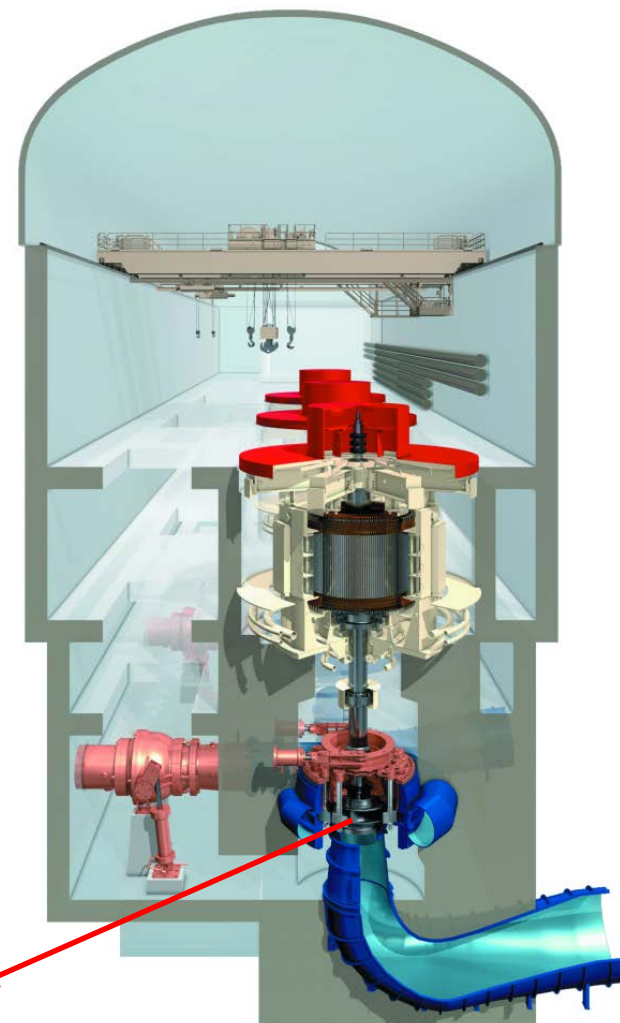
3. 京極発電所の概要



発電所イメージ

3. 京極発電所の概要

電気設備		1～3号機
ポンプ水車	最大出力	208, 000kW
	規準有効落差	369. 0m
	最大入力	230, 000kW
	最高揚程	436. 5m
	回転速度	500±25min ⁻¹
発電電動機	発電機容量	230, 000kVA
	電動機出力	230, 000kW
	電圧	16. 5kV
	周波数	50Hz
	揚水始動方式	サイリスタ始動＋同期始動
発電用変圧器	容量	240, 000kVA
	電圧	16. 5kV／275kV



ポンプ水車ランナ

3. 京極発電所の概要

京極発電所特有の機能

1) 発電AFC運転範囲拡大

AFC(自動周波数調整)運転範囲 0~200MW (一般的に50%程度~100%)

2) 緊急起動機能

系統周波数が規定値以下になると、自動的に発電起動しAFC運転に移行します。

3) フライホイール運転

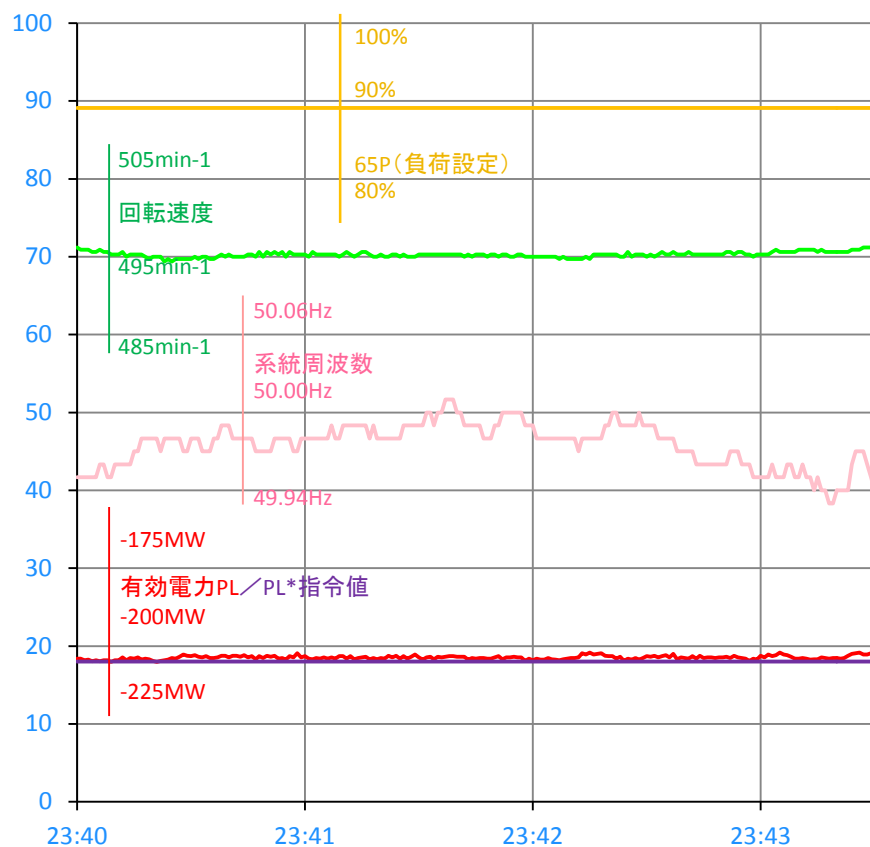
調相運転*1の状態では系統周波数の変動に対して調定率を持ち、最大±20MW 10sを入出力させ周波数変動を抑制します。回転体の慣性を $500 \pm 25 \text{min}^{-1}$ の範囲で電力に変換します。

*1 調相運転:ポンプ水車を水面押下げ状態で空転させ、励磁装置により無効電力を調整し系統電圧を維持します(ロータリーコンデンサ運転)。

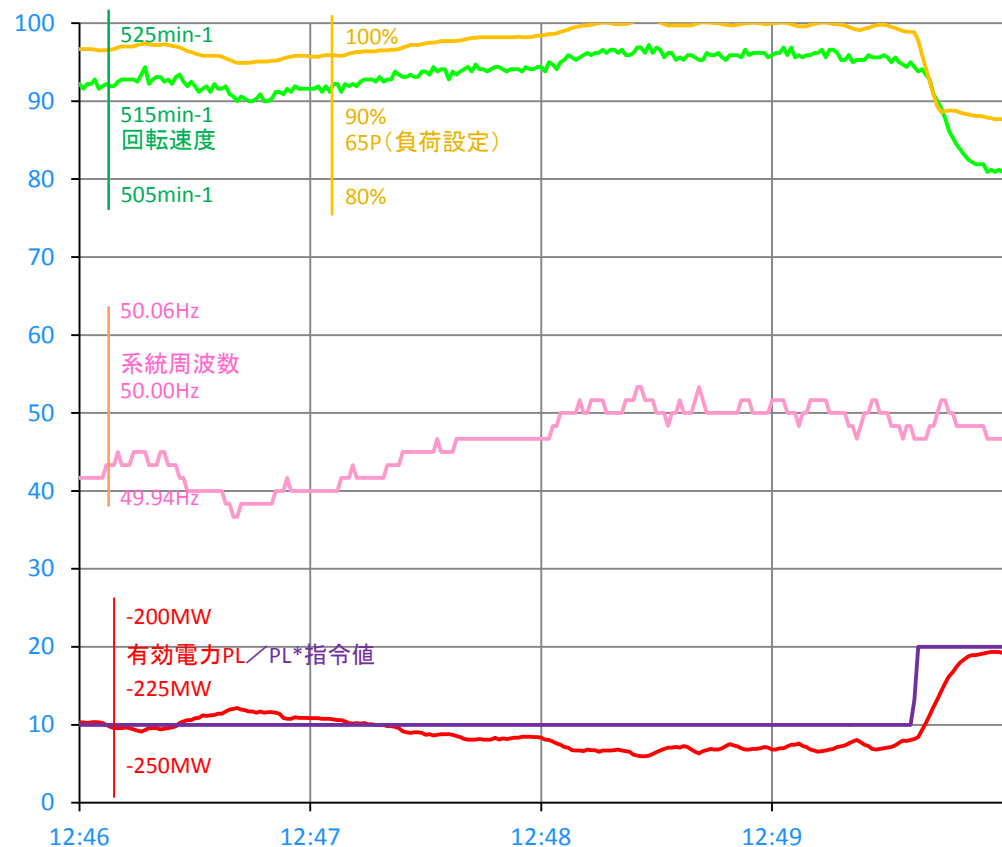
4) 特殊運転

充・抜水運転モード、鉄管充水運転

4. 導入の効果 揚水GF(ガバナフリー)ロックとGF運転比較



1号揚水GFロック運転(定速機運転と同様)

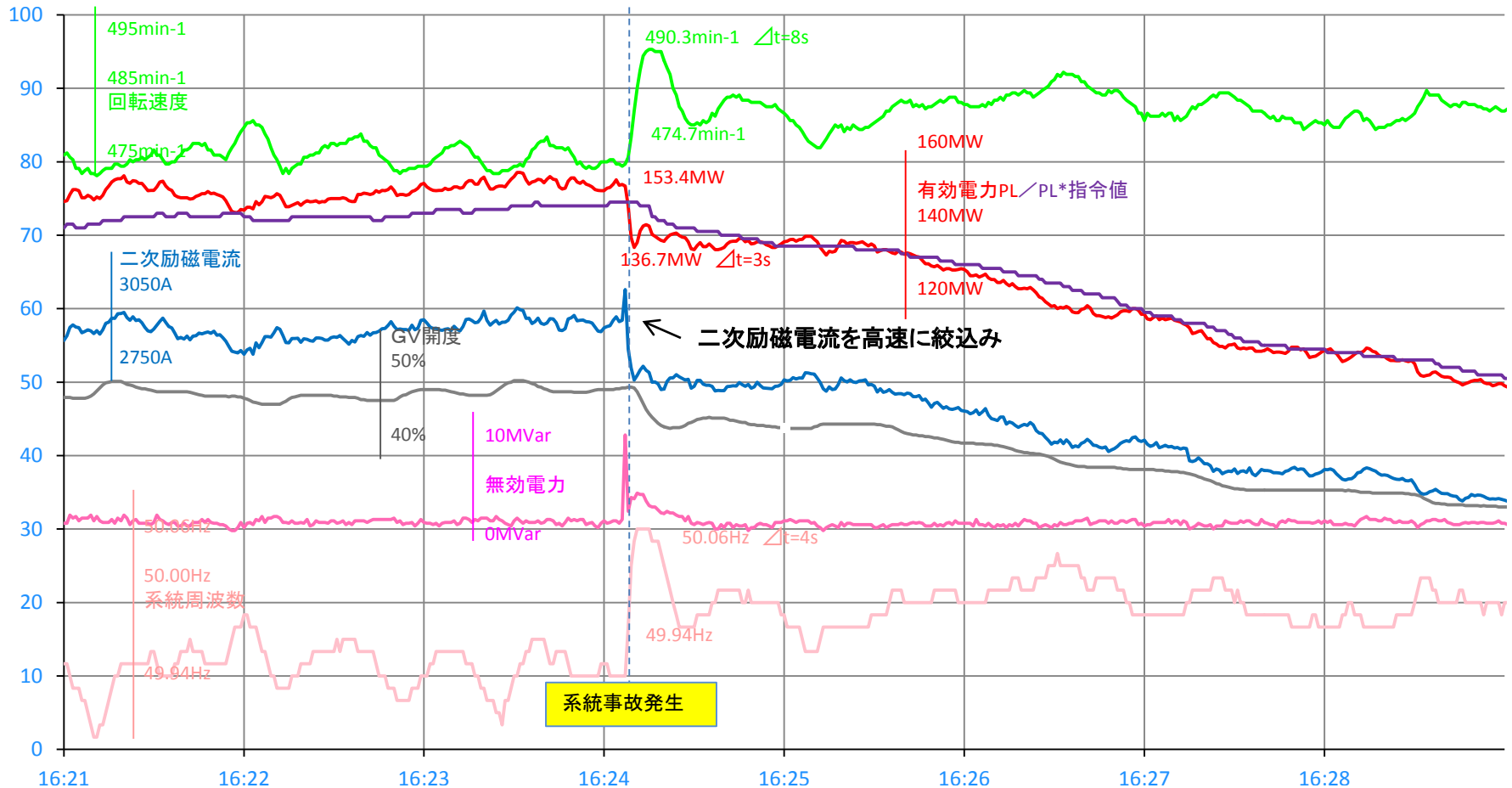


2号揚水GF運転

* GFロック運転(定速機)では、有効電力PL指令値に追従してほぼ一定のPLに対しGF運転(可変速機)では、周波数の変動に3%の調定率でPLが追従しています。また、PL指令値のステップ変化に対し65Pの動作速度に追従してPLが変化しています。

4. 導入の効果

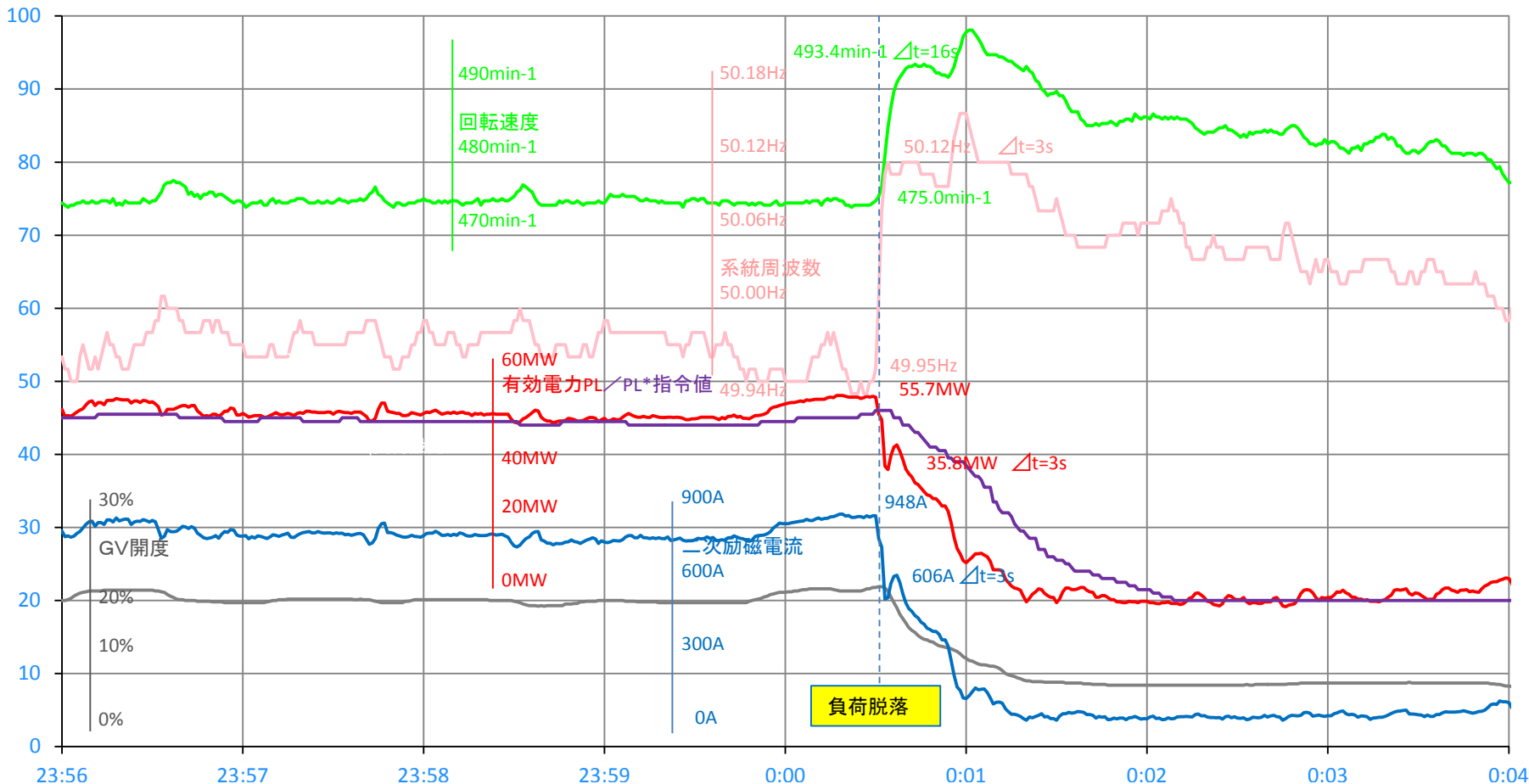
1号発電運転中の系統事故時の波形



* 187kV送電線3相短絡 高速再閉路成功事故時の挙動。

PL指令値が変化しなくても事故直後の系統周波数上昇に追従して高速に有効電力PLを絞り込んでいます。GV(ガイドベーン)の動作速度より二次励磁電流を高速に絞込むことで実現していることが分かります。

4. 導入の効果 1号発電運転中の大型負荷脱落時の波形



* 大型負荷脱落による系統周波数の急上昇に追従し、高速に有効電力PLを絞り込んでいます。系統事故時に比べ、周波数変動が大きかったため、有効電力PLの絞り込みも大きく、これにより回転速度の上昇も大きくなっています。

5. まとめ

可変速揚水発電システムを導入することで、

- ✓ 揚水運転時の入力調整およびGF運転が可能となります。
- ✓ 風力発電や太陽光発電等の再生可能エネルギーの出力変動への対応が可能となります。
- ✓ 系統事故時の急峻な電力変動にも高速に追従し、系統安定度の向上に貢献します。

