

CTA報告154： CTA大口徑望遠鏡高速回轉電源システムの開発試験

久門 拓^A, 野田 浩司^A, 手嶋 政廣^{A,B}, 齋藤 隆之^A,
猪目 祐介^A, 稲田 知大^A, 奥村 暁^C, 加賀谷 美佳^A,
片桐 秀明^D, 千川 道幸^E, 深見 哲志^A, 藤原 千賀己^E,
山本 常夏^F, 吉田 龍生^D, 李 健^E, Daniel Mazin^{A,B}
他CTA-Japan Consortium

東大宇宙線研^A, Max-Planck-Inst. fuer Phys.^B,
名大ISEE^C, 茨城大理^D, 近畿大理工^E, 甲南大理工^F



17/Mar./2019

Cherenkov Telescope Array (CTA)

解像型大気チェレンコフ望遠鏡を用いた
次世代天文台

✓ 大口径望遠鏡(Large Sized Telescope, LST)

✓ 仕様

✓ 総重量：122ton

✓ 高さ：45m

✓ 焦点距離：28m

✓ 鏡直径：23m

大きい

=> エネルギー閾値：低

✓ CTAの低エネルギー側の観測を担当

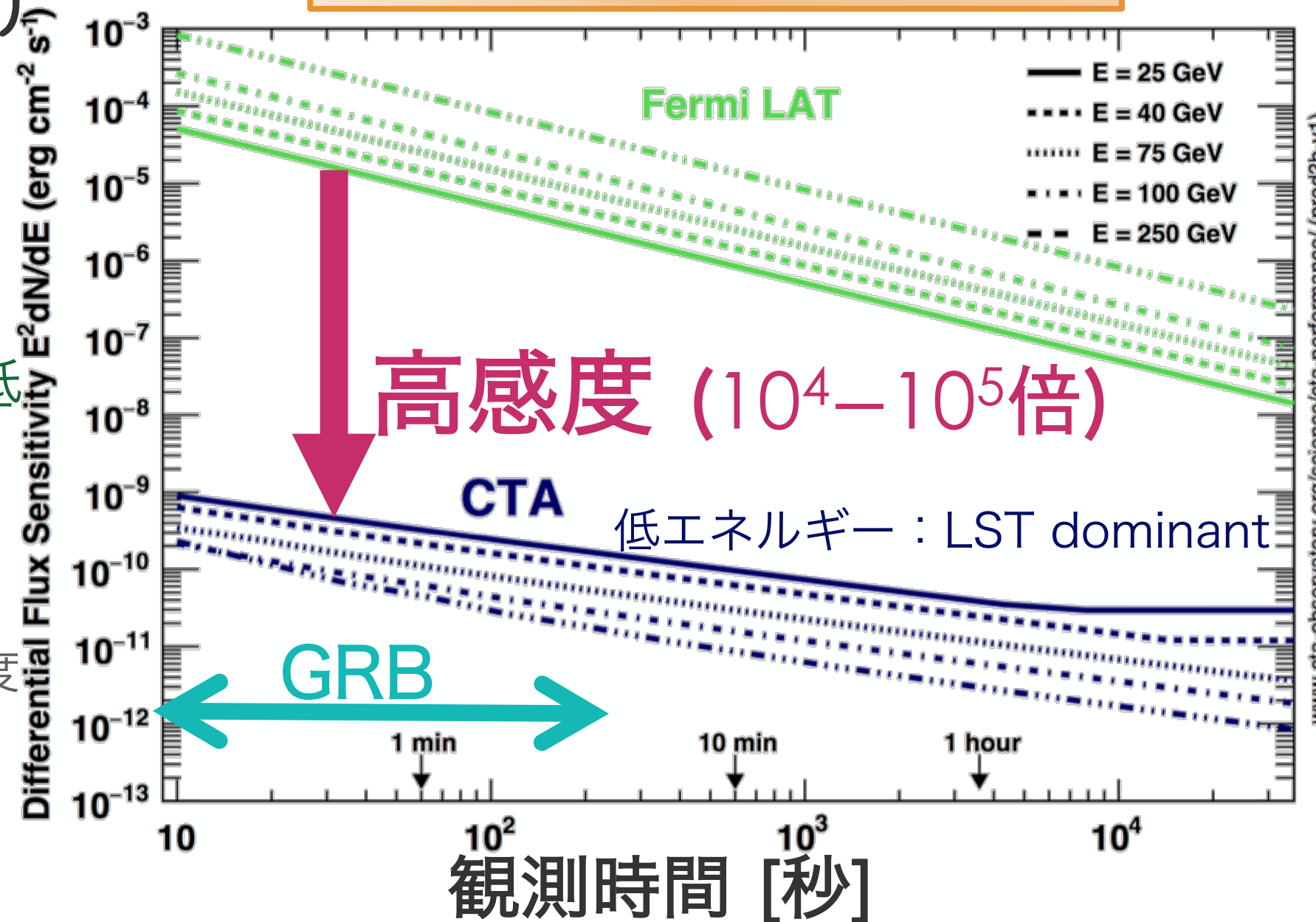
✓ エネルギー閾値を20 GeVまで下げられる

[cf.] 現行の閾値：100 GeV程度

✓ GRBに対しての感度

✓ Fermiの10⁴倍から10⁵倍の感度を持つ

FermiとCTAの感度曲線



✓ 超高エネルギーガンマ線領域での Long GRB即時放射の検出が期待 (数回 / 年)



CTAでは
LSTを
4台配置

LSTでGRB即時放射を検出する際の課題

【参考】
高速ポインティング
(60% of Max speed)

- ✓ 【GRB即時放射の検出】
GRBアラートを受信してから、
LSTを高速でポインティングする
 - ✓ 【推定電力】 数百kW × 4 入力上限値の10倍
- ⇒ 瞬間放電に優れた蓄電装置が必要

- ✓ LST: フライホイール(蓄電装置)を搭載
 - ✓ 【利点】 瞬間放電に優れる・コンパクト・
CTA運用年数に耐える長寿命 (20年)

望遠鏡への実装
世界初

【講演内容】

- LST電源システム (世界初) の説明
- GRBポインティングのための
高速回転を想定した試験結果の報告



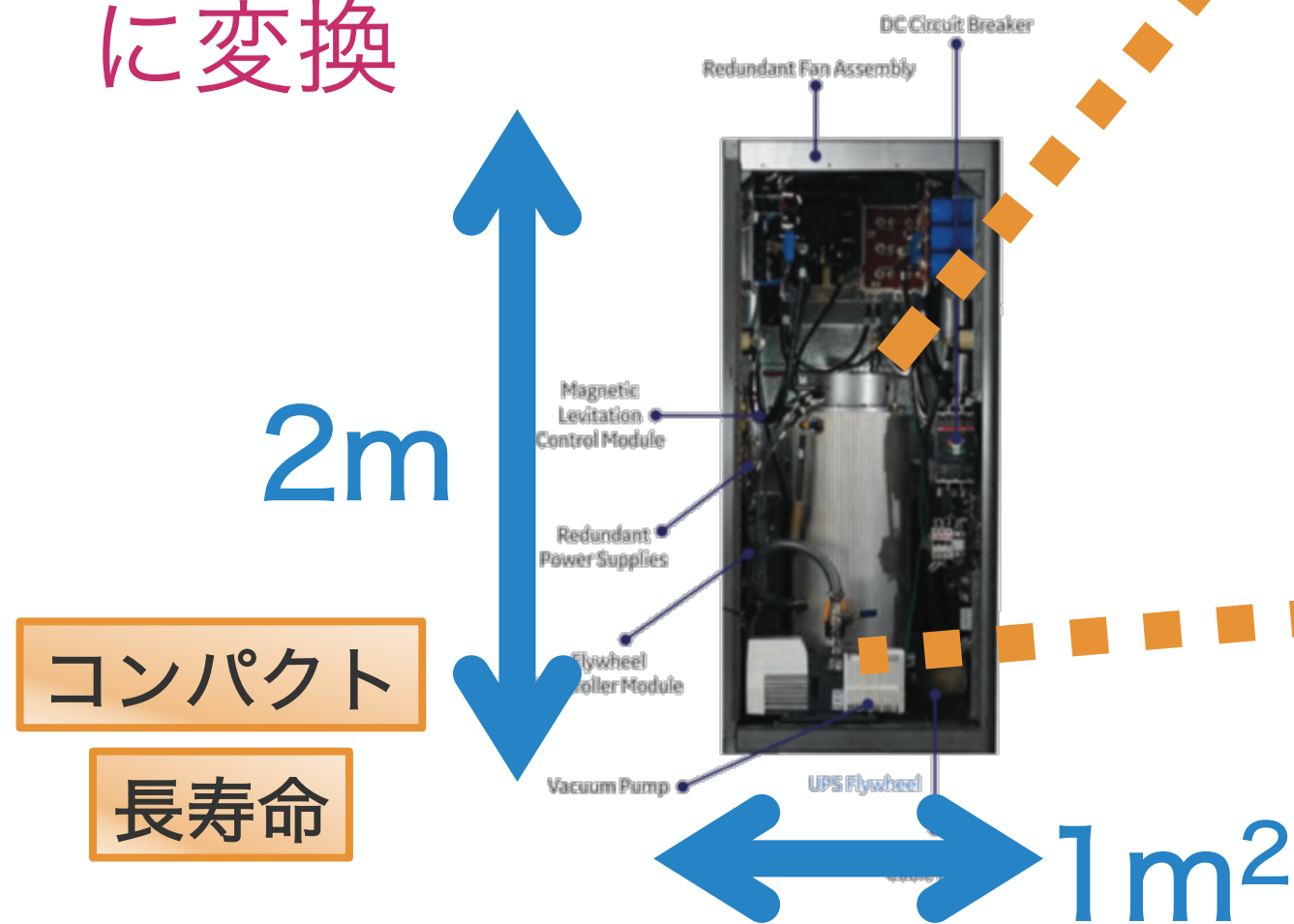
フライホイールについて

フライホイール拡大図

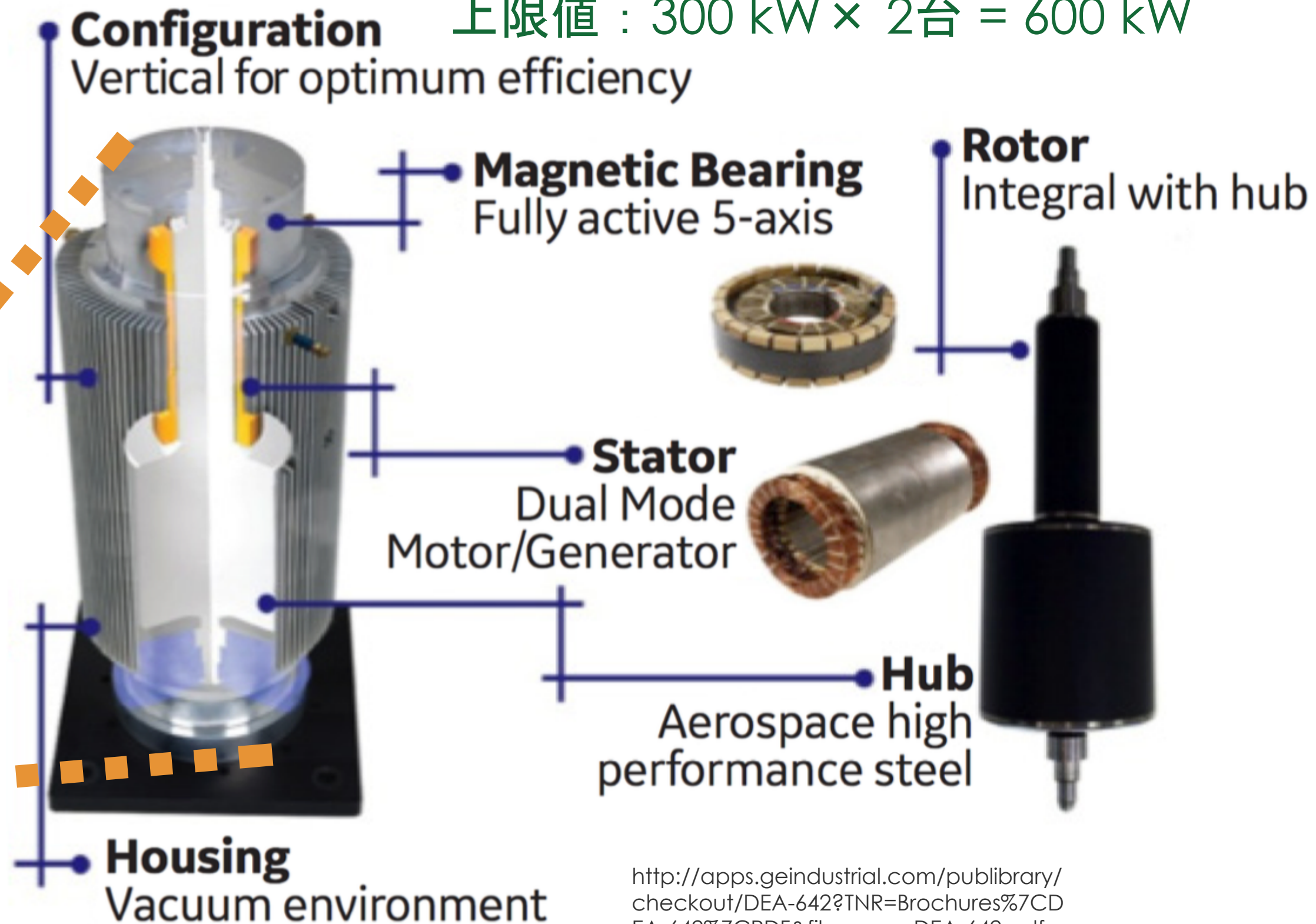
✓ フライホイール (2台搭載)

✓ 真空容器の中で
磁気浮上した金属が
高速で回る (36k 回転/分)

✓ 電気エネルギーを
力学的な回転エネルギー
に変換



上限値 : 300 kW × 2台 = 600 kW



<http://apps.geindustrial.com/publibrary/checkout/DEA-642?TNR=Brochures%7CD EA-642%7CPDF&filename=DEA-642.pdf>

フライホイールを搭載した電源システム全体像

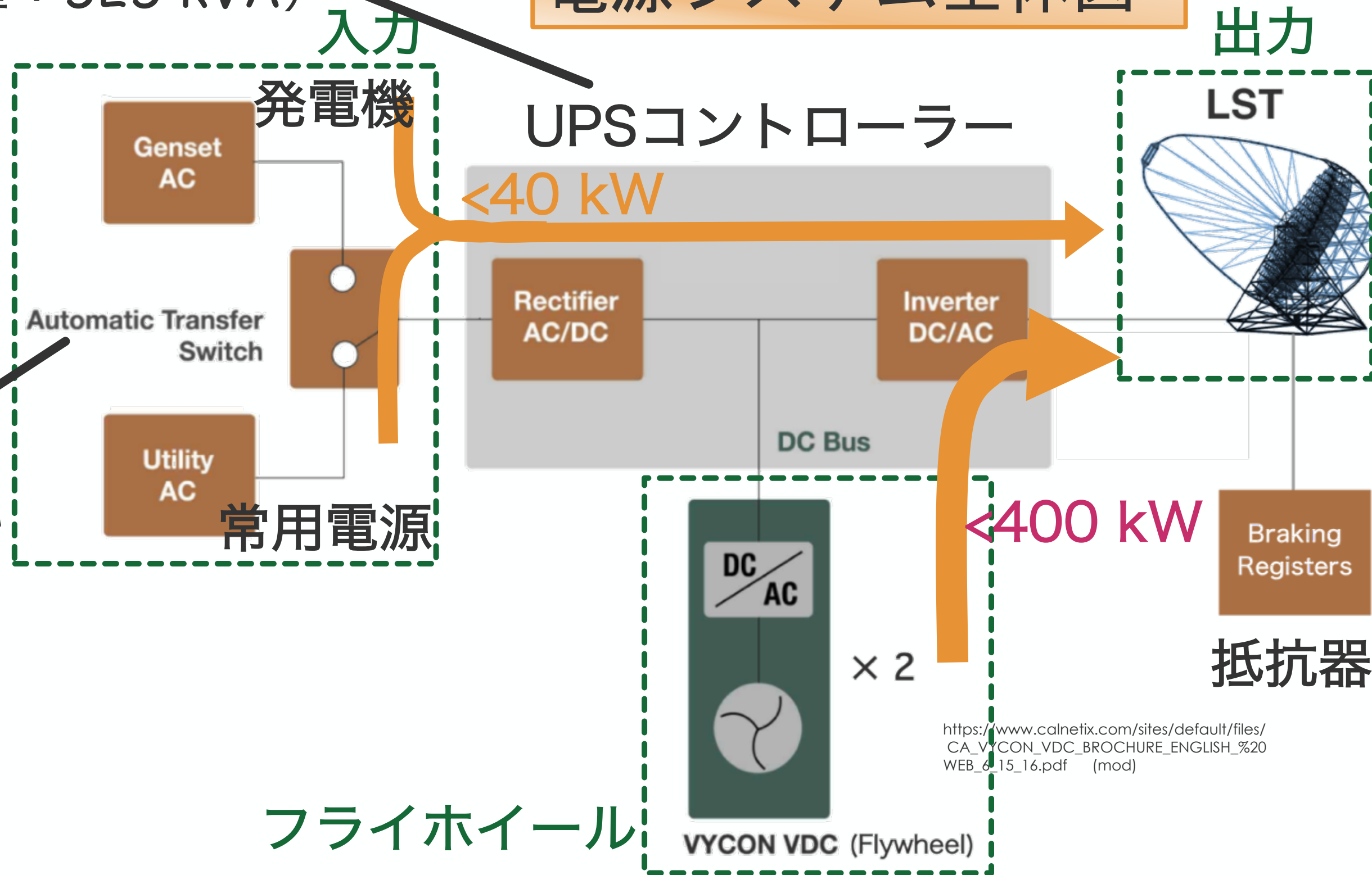
電源システム全体図

✓ UPSコントローラー（上限値：525 kVA）

- ✓ 入力、出力、フライホイールと接続
- ✓ 入力だけで出力電力が賄えない時は、フライホイールから電力を取り出す

✓ Automatic Transfer Switch

- ✓ 常用電源が切れた時に、入力元を非常用発電機側に切り替える



フライホイール

フライホイールを搭載した電源システム全体像

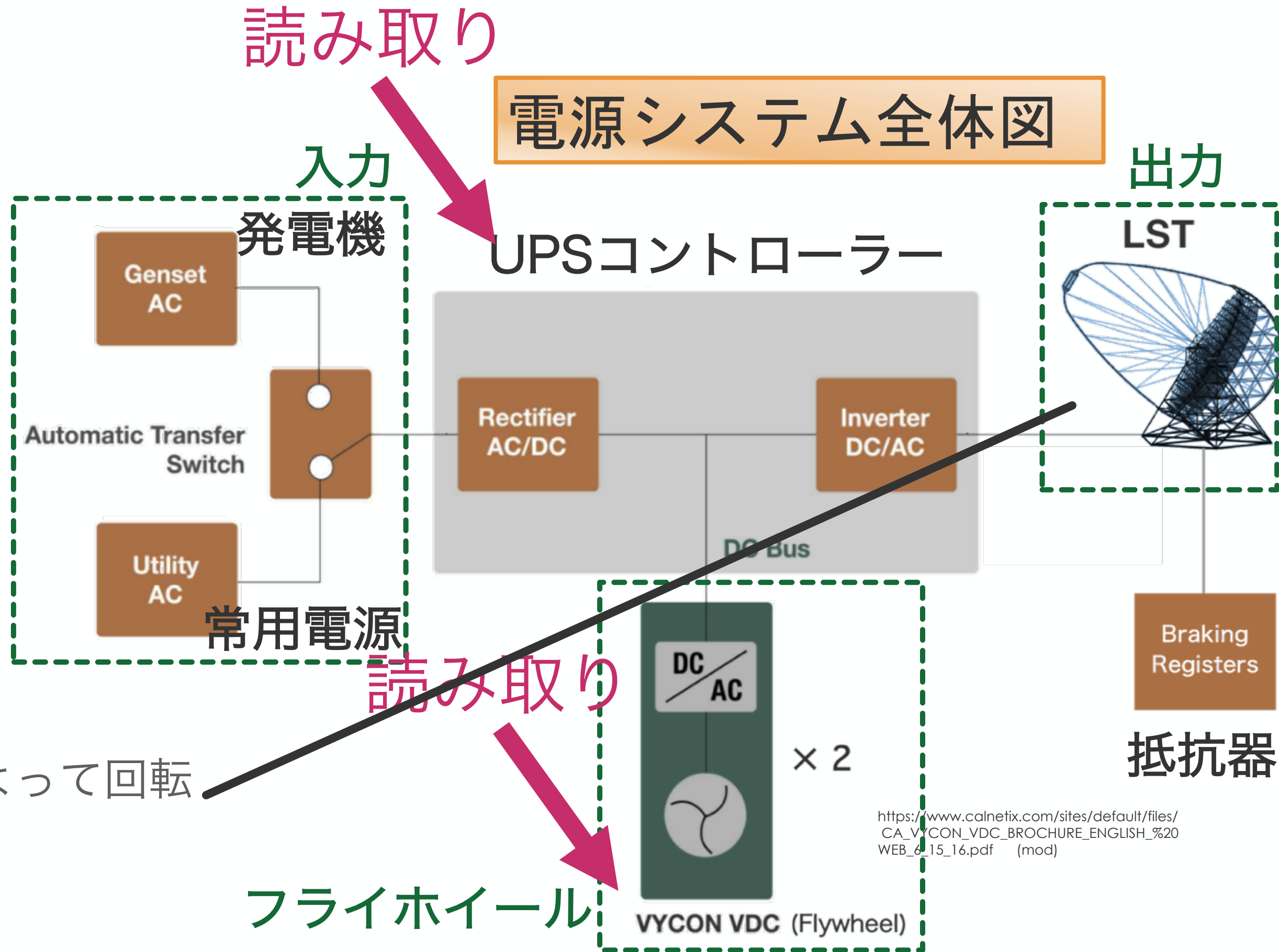
✓ モニタリングシステム

- ✓ フライホイールやUPSコントローラーの値を測定 (Modbusプロトコル)

- ✓ 試験のために読み取りプログラムを作成

✓ LST (電源システム外)

- ✓ 方位角・仰角のモーターによって回転



https://www.calnetix.com/sites/default/files/CA_VYCON_VDC_BROCHURE_ENGLISH_%20WEB_6_15_16.pdf (mod)

高速回転を想定した試験

- 疑似負荷放電試験

電力負荷を1kW刻みで設定できる装置



疑似負荷

【方法】

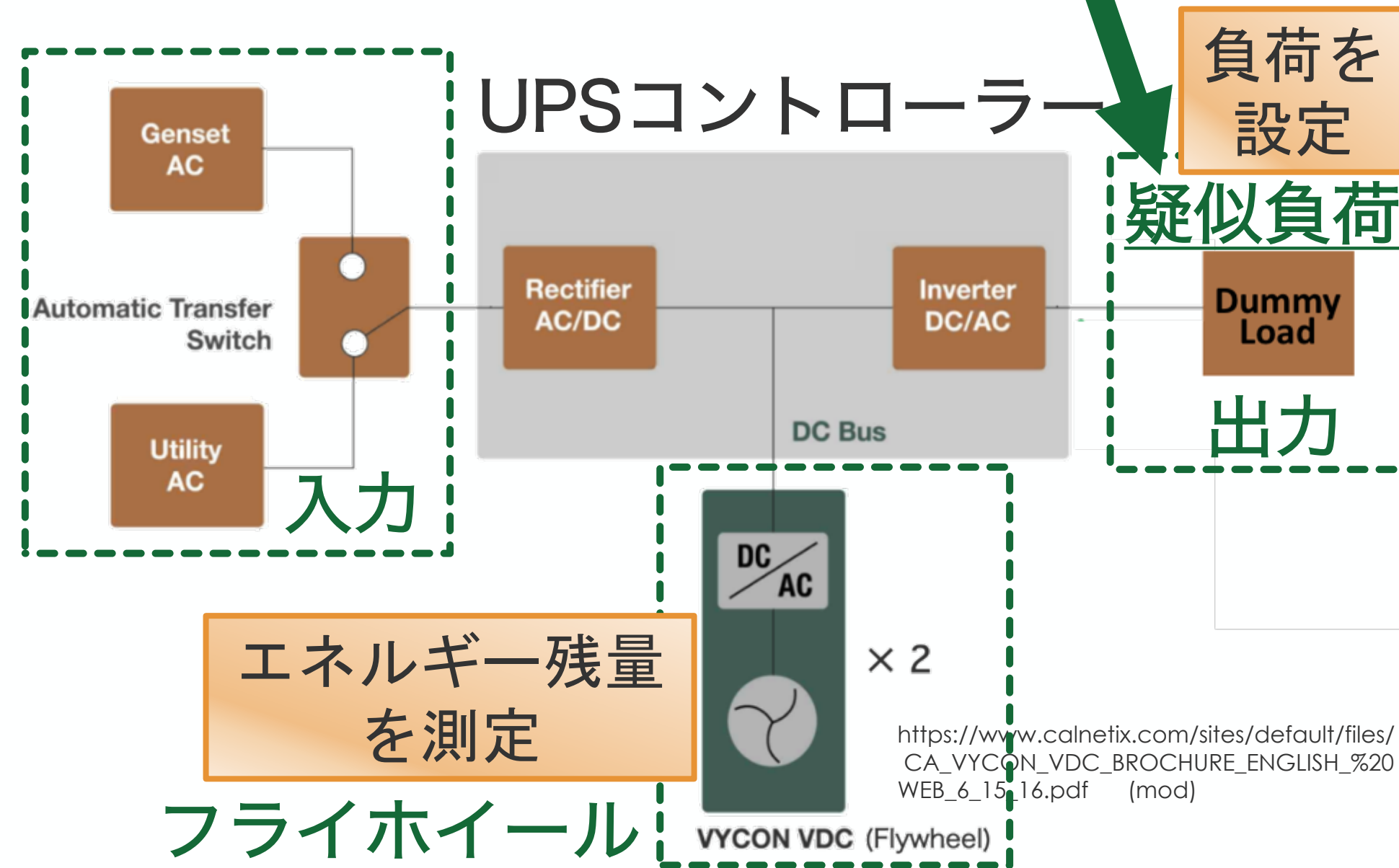
1. LSTの代わりに疑似負荷を接続
2. LSTの出力値を設定して、エネルギー残量100%からの放電試験を実施
3. フライホイールのエネルギー残量変化を測定
4. 放電時の消費電力を算出

【LST出力値】

45kW, 50kW, 70kW, 90kW,
120kW, 170kW, 220kW, 270kW,
320kW, 370kW, 420kW

※ 各出力での放電試験を12回ずつ実施

✓ 一日あたり4回 × 3日間



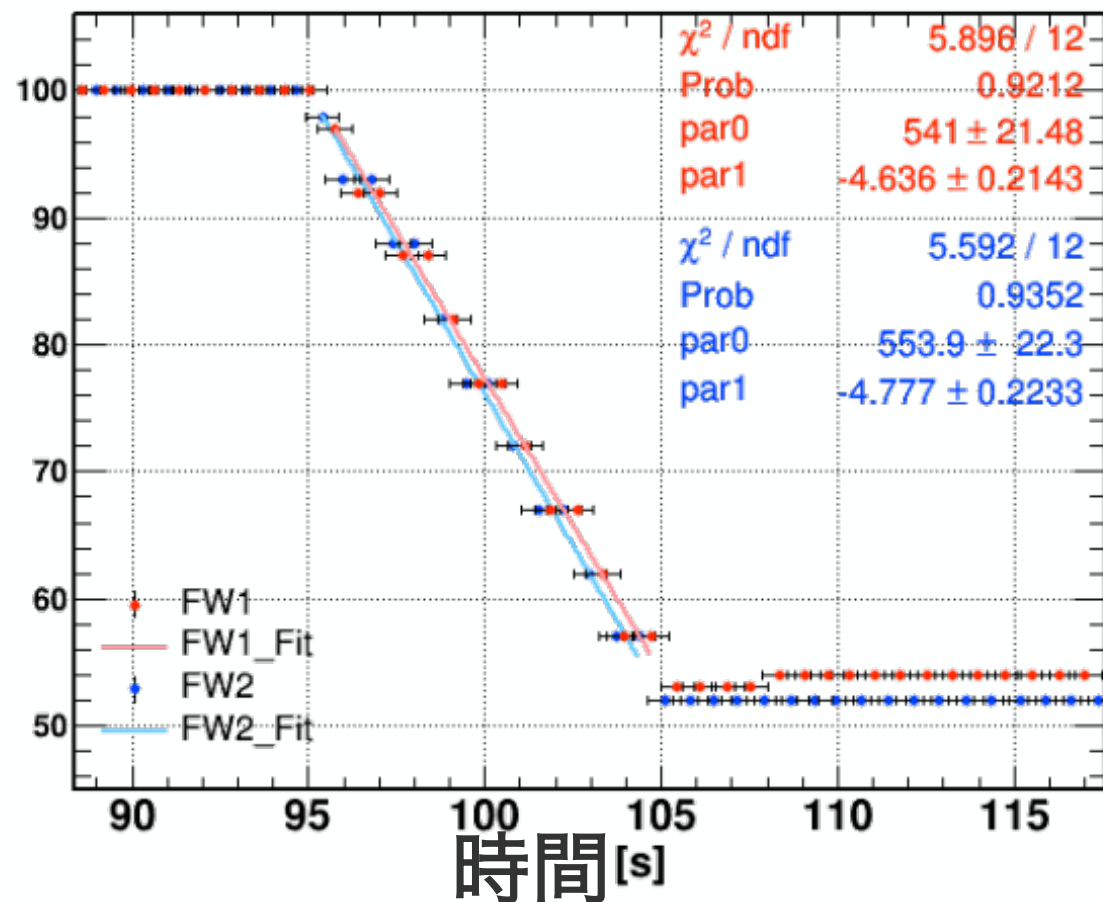
https://www.calnetix.com/sites/default/files/CA_VYCON_VDC_BROCHURE_ENGLISH_%20WEB_6_15_16.pdf (mod)

高速回転を想定した試験 - 疑似負荷放電試験

【結果】

- ✓ 問題なく大電力を供給可能
- ✓ 各出力ごとの結果 (12回)
=> 誤差の範囲で一致

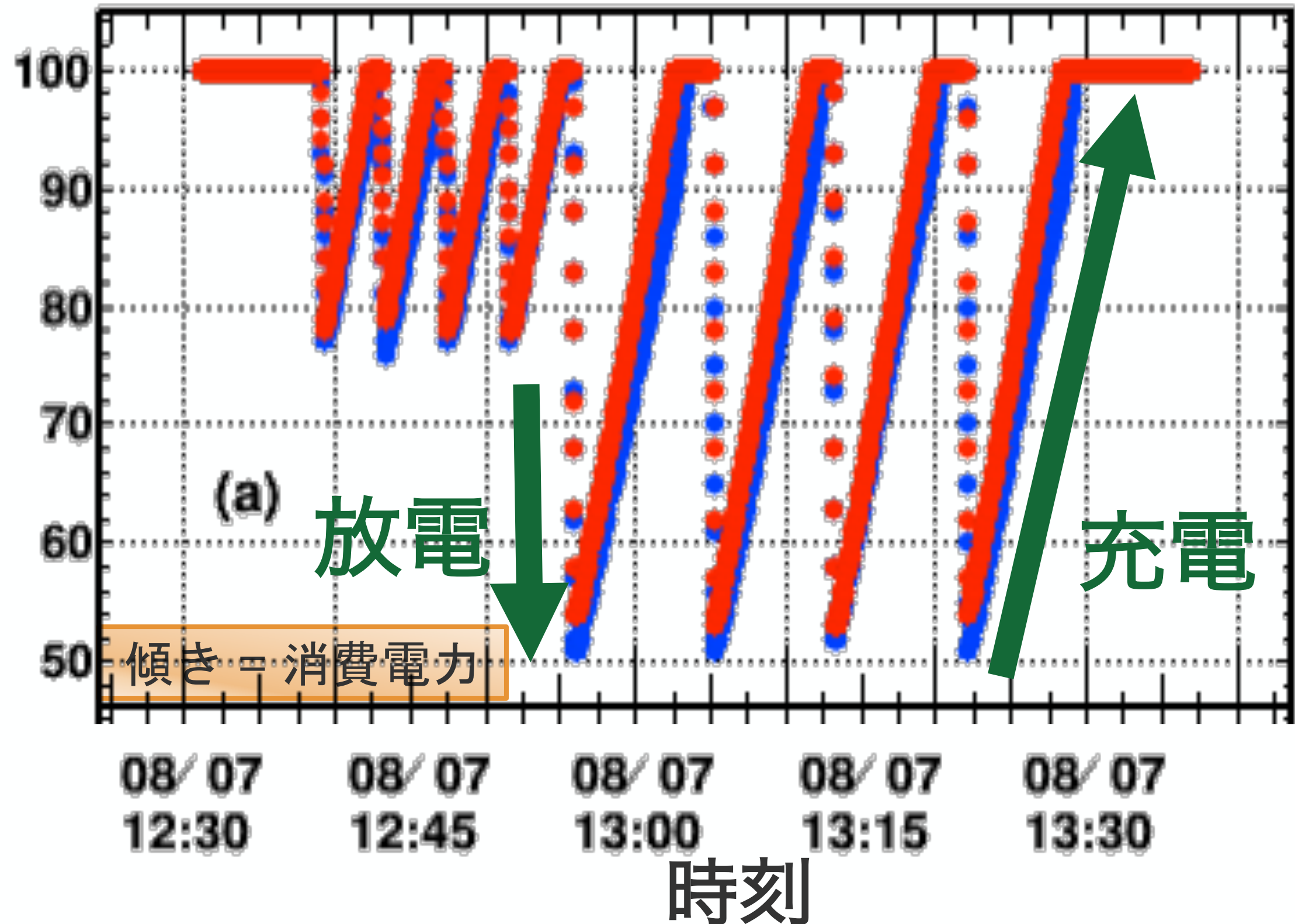
拡大図(420kW, 10秒放電)



220kW, 10秒放電 (×4)
420kW, 10秒放電 (×4)

赤：フライホイール1
青：フライホイール2

エネルギー残量 [%]



エネルギー残量 [%]

高速回転を想定した試験 - 疑似負荷放電試験

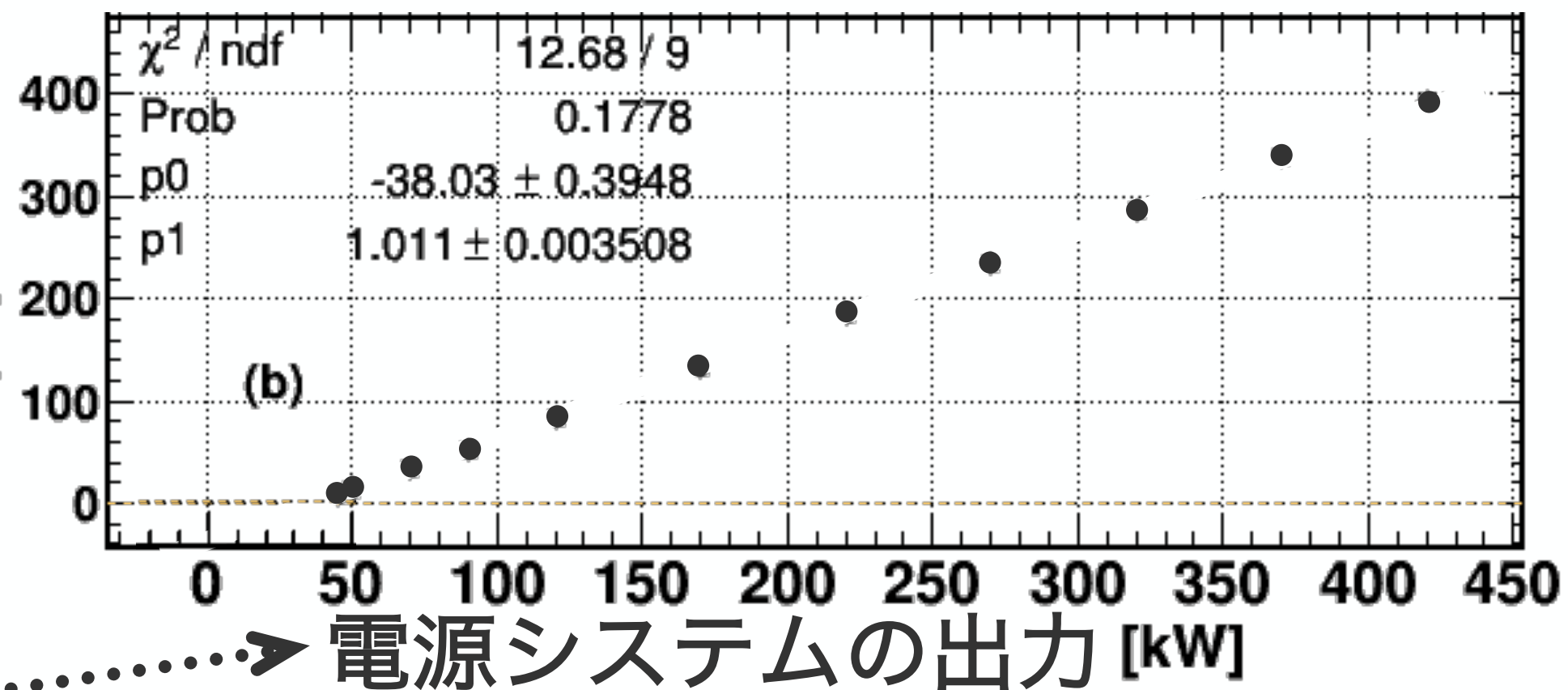
【結果】

- 出力 P_{out} と
フライホイール消費電力 P_{FWs} の
関係式

$$P_{out} = 0.99 \times P_{FWs} + 38kW$$

電源システム
の出力
フライホイール
消費電力
電源システム
の入力

フライホイール
合計消費電力



電源システムの出力和、
フライホイールの消費電力の
関係式を理解

高速回転を想定した試験

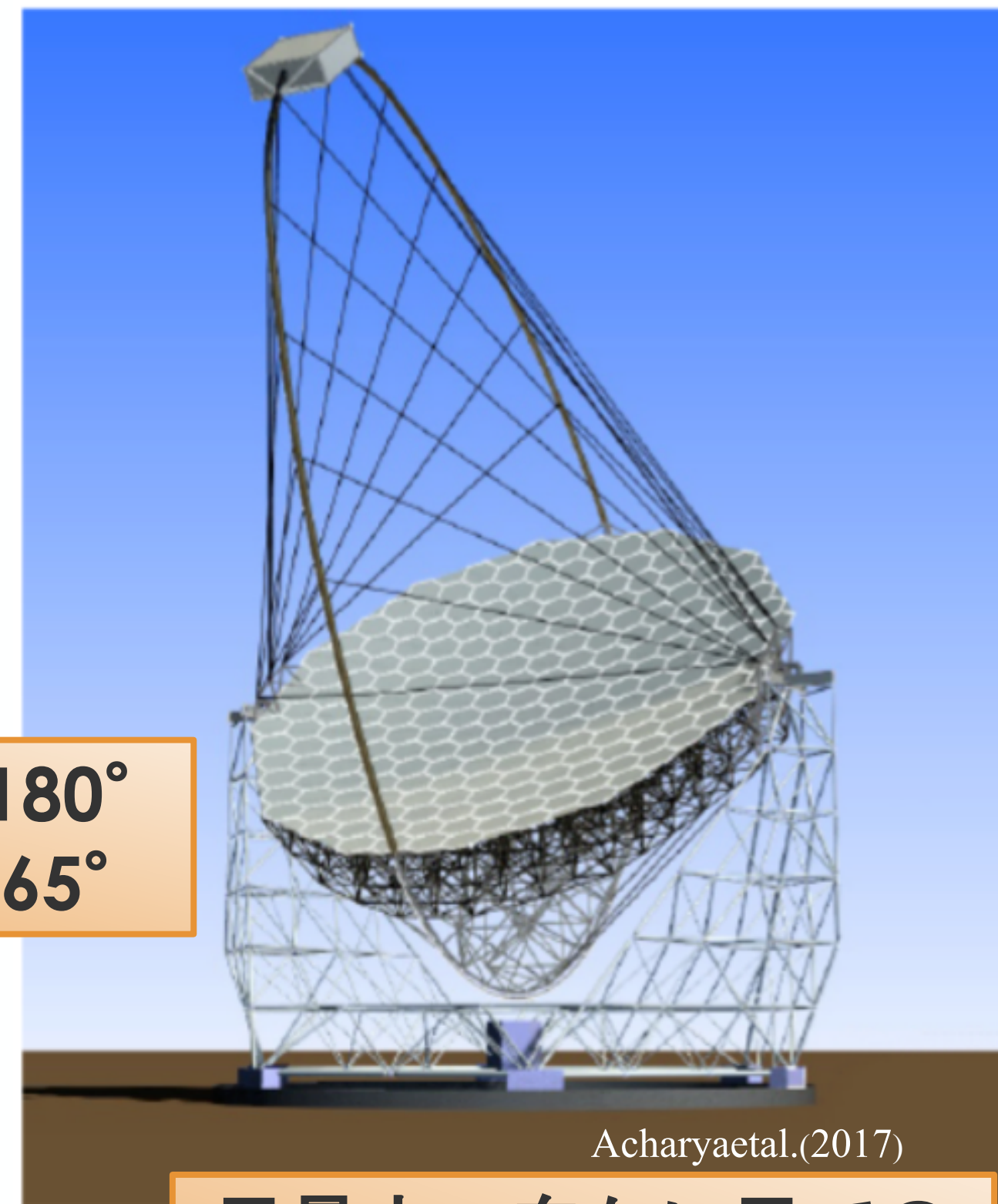
- シミュレーション

【方法】

1. 推定される**最大の**電力をシミュレーションで算出
 - ✓ 【状況】 20秒で最大角度の回転
風最大：60 km/h
向かい風
2. その時のフライホイールのエネルギー残量変化を算出

疑似負荷試験での結果を用いる

方位角最大回転：180°
天頂角最大回転：65°



Acharyaetal.(2017)

風最大・向かい風での
加速時に推定される
最大電力を算出

高速回転を想定した試験 - シミュレーション

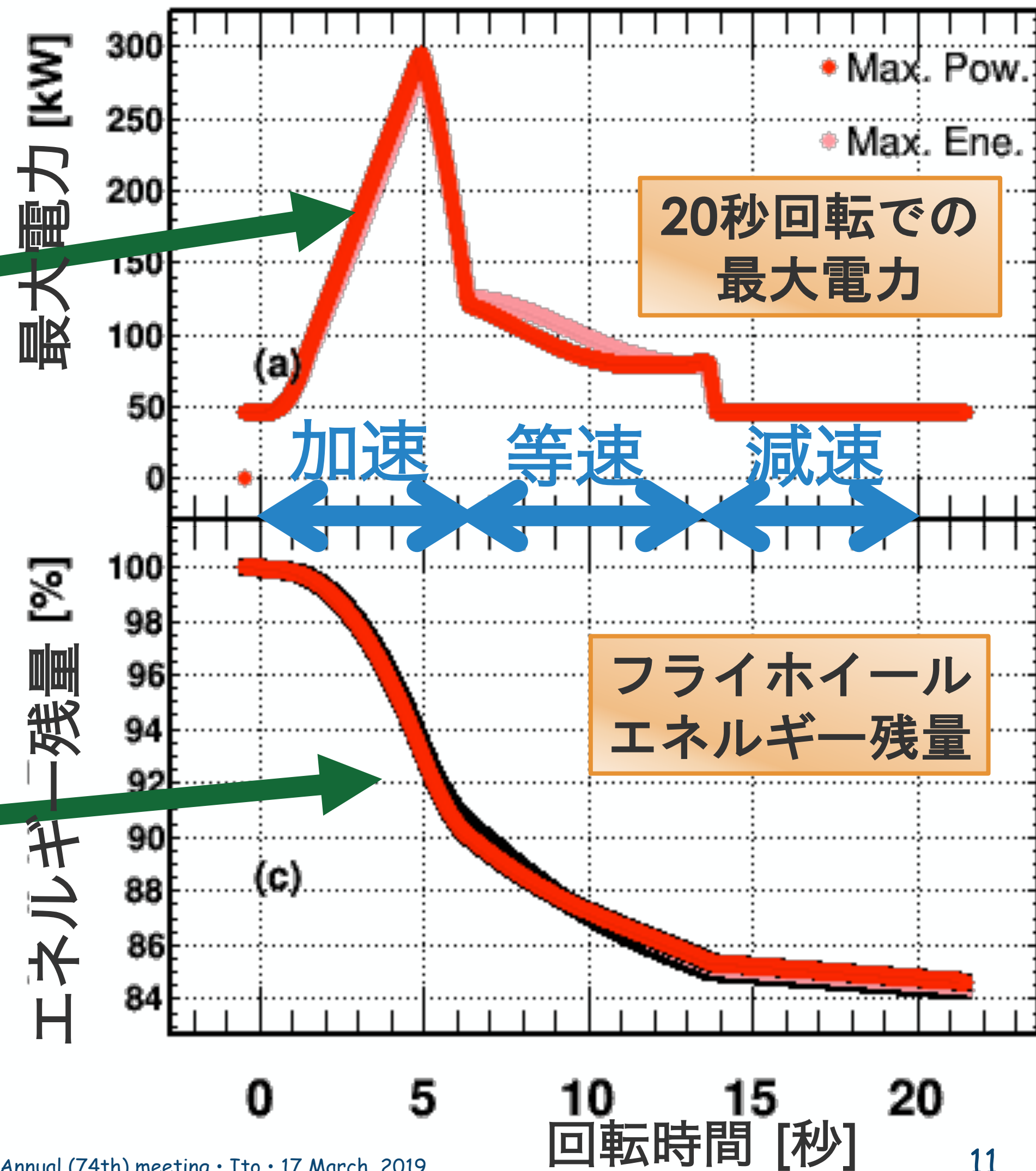
【結果】

✓ LSTが要求する最大電力：次の和で算出

- ✓ 回転エネルギー変化分（加速時：最大）
- ✓ 転がり摩擦分（自重と風圧の両方を考慮）
- ✓ トルク分（向かい風）
- ✓ その他電力（カメラや冷却機など）
- ※ モーターのエネルギー変換効率も考慮

✓ フライホイールのエネルギー残量

- ✓ 疑似負荷試験で求めた関係式より



高速回転を想定した試験 - シミュレーション

【結果】

A) 最大電力

✓ ピーク時 = 300kW

=> 出力上限の60% : 十分余裕がある

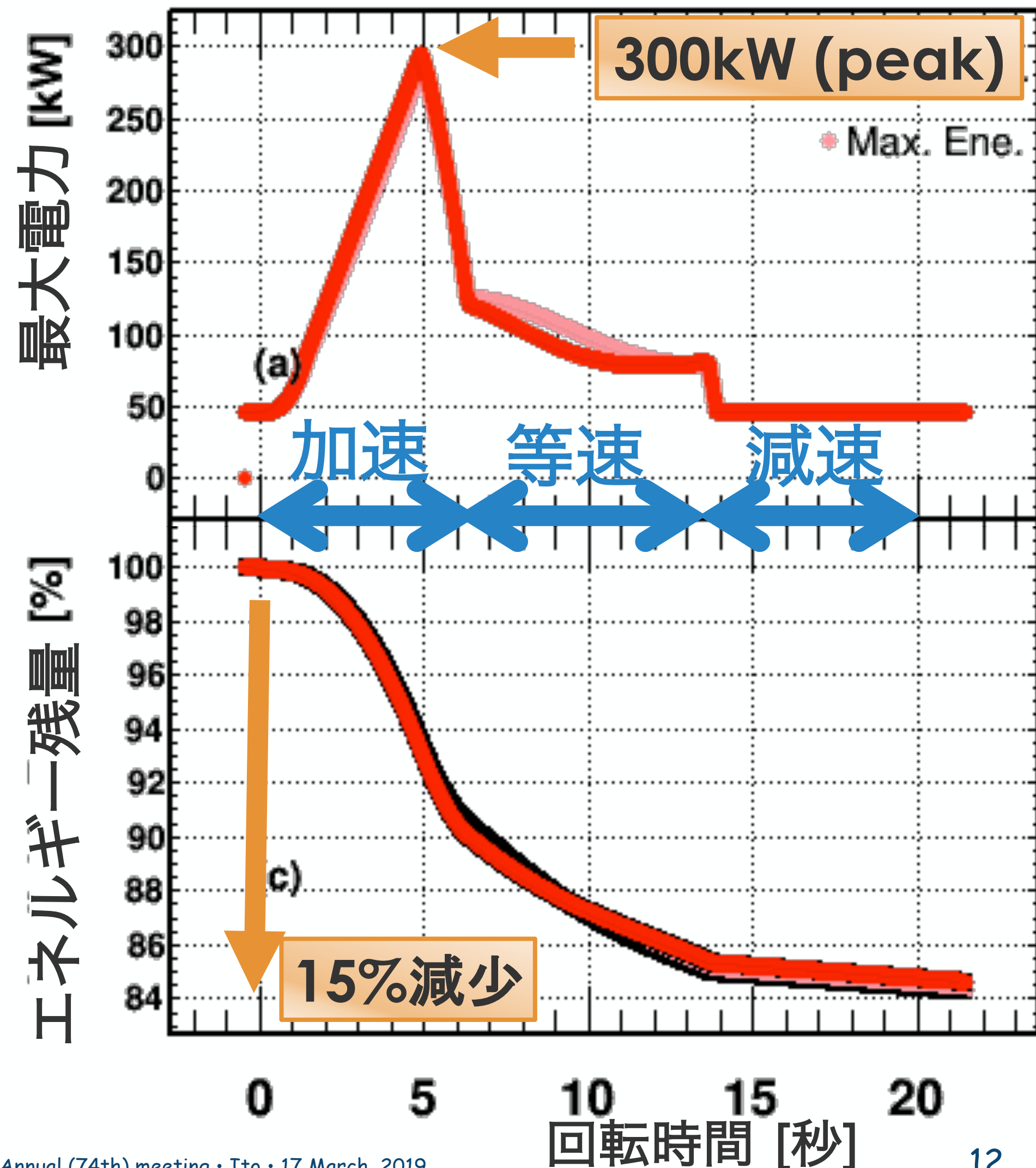
✓ [cf.] 出力上限 : $525 \text{ kVA} \times 0.9 = \underline{470 \text{ kW}}$
力率

B) エネルギー残量 (フライホイール)

✓ 減少量 = 15%

=> エネルギーがゼロにならずに
高速ポイントニングを完了できる

=> 20秒以内にいかなる方向にも
安全にポイントニング可能



まとめ

- ✓ CTA大口径望遠鏡はGRBの即時放射を検出するために
世界で初めてフライホイールを搭載した電源システムを望遠鏡に搭載
- ✓ 疑似負荷を用いた大電力供給機能の試験と、シミュレーションによって、
いかなる方向にも20秒以内の
高速ポイントニングが可能なことを確認

今後の展望

- ✓ 本格的な稼動開始後は、年間数回のLong GRB即時放射の観測が可能