

# 5 Energy recovery, Energy storage, Energy control of Accelerator

## Energy Recovery from ILC beam dump (Junpei Fujimoto, KEK)

<p><b>ILCのビームダンプにおけるエネルギー回収</b></p> <p>藤本順平 KEK 01/07/2014 AAA Green-ILC</p> <p>1</p>	<p><b>内容</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 導入</li> <li>2. TDRデザイン、ウォーターダンプ</li> <li>3. もうひとつの案、ガスダンプ</li> <li>4. プラズマ減速ダンプシステム</li> <li>5. まとめと展望</li> </ol> <p>2</p>
<p><b>1. 導入</b></p> <p>グリーンILCの観点からビームダンプを眺める</p> <p>Requirements from Physics Exp.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Basic requirements:       <ul style="list-style-type: none"> <li>- Luminosity : <math>\int d\Omega = 500 \text{ fb}^{-1}</math> in 4 years</li> <li>- <math>E_{beam}</math> : scan 200 – 500 GeV and the ability to &lt; 0.1%</li> <li>- E stability and precision: &gt; 80%</li> <li>- Electron polarization: &gt; 80%</li> </ul> </li> <li>• Extension capability:       <ul style="list-style-type: none"> <li>- Energy upgrade: 500 → 1,000 GeV</li> </ul> </li> </ul> <p>loss rate</p> <p>100% : 10 MW → ~ 130 MW</p> <p>Infrastructure : 50 MW RF System : 70 MW Cryogenics : 70 MW Beam Dump : 10.0 MW... 200 MW</p> <p>ILCで果たすべきこと</p> <p>口述の効率化を図る</p> <p>ここを考えるより回収すること</p> <p>10MWにおけるエネルギーが廃棄、回収ができれば、よりグリーン</p> <p>KEK 14/07/2014</p> <p>1</p>	<p><b>2. Water beam dump designed in TDR</b></p> <p>Chapter 8: Beam Delivery System and Machine Detector Interface</p> <p>8.8.1 Beam dumps and Collimators</p> <p>The beam-delivery system contains two tune-up dumps and two main beam dumps. These four dumps are all designed for a peak beam power at nominal parameters of 18 MW at 500 GeV per beam, which is also adequate for the 44 MW beam power of the 1 TeV upgrade. The dumps consist of 1.8 m-diameter cylindrical stainless-steel high-pressure (10 bar) water vessels with a 30 cm diameter, 1 mm thick Ti window and also include their shielding and associated water systems (Fig. 8.15). The design [108] is based on the SLAC 2.2 MW water dump [189, 190].</p> <p>Figure 8.15: Temperature distribution at the center of the beam in the main 18 MW dump during passage of the beam train (left). (The secondary dump is also shown on the right.) The colour bar indicates temperature in keV; the maximum temperature is 155 °C [108].</p> <p>KEK 14/07/2014</p> <p>2</p>
<p><b>水ダンプシステムにおける水系案</b></p> <p>TESLA</p> <p>DESY, February 2001, TESLA Report 2001-04</p> <p>Concept of the High Power <math>e^{\pm}</math> Beam Dumps for TESLA</p> <p>W. Bialowons, M. Maslov, M. Schmitz, V. Sytchev</p> <p>• 70°C の温水が得られる。</p> <p>ここに、エネルギー回収の可能性あり</p> <p>Figure 6: Scheme of the water system for the water based beam dump</p> <p>KEK 14/07/2014</p> <p>3</p>	<p><b>A.3 Schematic Layout of Water Beam Dump</b></p> <p>general cooling water</p> <p>exhaust / chimney</p> <p>sand</p> <p>containment shielding</p> <p>air treatment</p> <p>water-system</p> <p>basin</p> <p>commissioning beam</p> <p>water-dump vessel</p> <p>dump shielding</p> <p>spent beam</p> <p>6</p> <p>Norbert Tesch (DESY) – Design Studies for an 18-MW Beam Dump at TESLA – ICRC 10 / RPS 2004 – Madras – May 2004</p>

### 3. もうひとつの案、ガスダンプ

Based on "Another idea of a LC dump" by Albrecht Leuschner 16/09/2003

ダンプトンネルの断面図  
1000mに及ぶ長さが必要  
アルゴンガスのパイプ  
鉄シリンダー  
冷却水層  
空気

Inter-University Research Institute Corporation High Energy Accelerator Research Organization KEK

Albrecht Leuschner

### 400 GeVの電子を入射したときのエネルギー分布

radius [cm]  
length [m]  
Energy Density [GeV/cm<sup>3</sup>]

Inter-University Research Institute Corporation High Energy Accelerator Research Organization KEK

### 長所・短所

	水ダンプ	ガスダンプ
長さ	10 m	1000 m
窓にかかる圧力	10 bar static, 0.5 bar dyn.	1 bar static, 0.01 bar dyn
窓の直径	30 cm	8 cm
水素ガスの生成量	Several liter/sec @ 20 MW	no

Inter-University Research Institute Corporation High Energy Accelerator Research Organization KEK

### 4. プラズマ減速ダンプシステム

PHYSICAL REVIEW SPECIAL TOPICS - ACCELERATORS AND BEAMS 13, 101303 (2010)

Collective deceleration: Toward a compact beam dump

H.-C. Wu,<sup>1,2</sup> T. Tajima,<sup>1,2</sup> D. Habs,<sup>1,2</sup> A. W. Chao,<sup>3</sup> and J. Meyer-ter-Vehn<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Max-Planck-Institut für Quantenoptik, D-85748 Garching, Germany  
<sup>2</sup>Fakultät für Physik, Ludwig-Maximilians-Universität München, D-8054 Munich, Germany  
<sup>3</sup>SLAC National Accelerator Center, Stanford University, Stanford, California 94039, USA  
(Rceived December 10, 2009; published 5 October 2010)

Bethe-Bloch formula for stopping power in material

$$-(dE/dx)_T = (F/\beta^2)[\ln(2m_e\gamma^2v^2/I) - \beta^2], \quad (1)$$

where  $E$  is the electron kinetic energy,  $F = 4\pi e^4 n_{e,m}/m_e c^2 = e^2 k_{pe,m}^2$ ,  $n_{e,m}$  is the electron density in the stopping material,  $k_{pe,m} = \omega_{pe,m}/c$  is the plasma wave number, and  $\beta = v/c$  is the normalized electron velocity.

Inter-University Research Institute Corporation High Energy Accelerator Research Organization KEK

The collective stopping power for wakefield deceleration of the electron bunch is large;

$$-(dE/dx)_{\text{coll-wave break}} = m_e c \omega_{pe} (n_b/n_e). \quad (5)$$

Equation (5) is exact for the resonant excitation of a wake-field with bunch length  $\sigma_L/\lambda_{pe} \approx 0.5$ , transverse size  $\sigma_T/\lambda_{pe} \geq 0.3$ , and modest density ratio  $n_b/n_e < 10$  where  $\lambda_{pe}$  is the plasma wavelength of the background plasma with density  $n_e$ ,  $n_b$  is the bunch density.

For a long beam  $\sigma_L/\lambda_{pe} \gg 1$ , the stopping power decreases exponentially with the factor  $k_{pe}\sigma_L \times \exp(-k_{pe}^2\sigma_L^2/2)$ . For a narrow beam  $\sigma_T/\lambda_{pe} \ll 1$ , the stopping power decreases with the factor  $k_{pe}^2\sigma_T^2$ .

Inter-University Research Institute Corporation High Energy Accelerator Research Organization KEK

$\sigma_L/\lambda_{pe} = 1/2$  なので  $\sigma_T = \pi c / \omega_{pe}$  と  $n_b = N_b / (\sigma_L \sigma_T^2)$  となる。ここで、 $N_b$  はバンチ中の電子の数なので、

$$-(dE/dx)_{\text{coll-wave break}} [\text{GeV/cm}] = 5.74 \times N_b / \sigma_T^2 [\text{cm}]$$

結局、

$$L_{\text{dump}} [\text{m}] = 1.7 \times 10^{13} \sigma_T^2 / N_b E_0 [\text{GeV}], \text{ w/ } \sigma_T > 0.6 \sigma_L$$

ILCでは、それぞれ、 $N_b = 2 \times 10^{10}$ ,  $E_0 = 500 \text{ GeV}$ なので、

$$L_{\text{dump}} [\text{m}] = 4.3 \times 10^5 \sigma_T^2 [\text{cm}]$$

$$= 130 \text{ m} \text{ w/ } \sigma_T = 300 \mu\text{m}, \sigma_T = 0.6 \times \sigma_L = 180 \mu\text{m}$$

$$= 10 \text{ m} \text{ w/ } \sigma_T = 50 \mu\text{m}, \sigma_L = \sigma_T / 0.6 = 83 \mu\text{m}$$

$$< 1000 \text{ m}$$

Inter-University Research Institute Corporation High Energy Accelerator Research Organization KEK

### プラズマ航跡場からのエネルギー回収の可能性

- 論文では、“in principle, the energies from the decelerated beams deposited in the form of organized plasma wakefield may be recovered into electricity.”との指摘がある。
- “Any electric circuit such as a metallic loop in the plasma picks up coherent electric currents caused by the plasma collective oscillations. Then, external circuit extract electric energies rather than heat.”
- “Because the energy of the plasma electrons is much less than that of the beam electrons, the collisions do not give rise to excessive radioactivation.”

Inter-University Research Institute Corporation High Energy Accelerator Research Organization KEK

### 6. まとめと展望

- TDRでの水ダンプシステムはよく考慮されていて、シミュレーションもよくされている。
- が、以下の考慮すべき点があることもわかっている。
  - (1) 耐10気圧のダンプ窓
  - (2) 発生する水素ガスの排出
  - (3) 70°C の温水が得られる。

Inter-University Research Institute Corporation High Energy Accelerator Research Organization KEK

- ガスダンプ案では、
  - (1) 1気圧でよいので、ダンプ窓の耐圧問題はない
  - (2) 水素ガスの発生がない
  - (3) 全長が長い、(1000 m の 4 ダンプシステム)
- プラズマ減速ダンプシステム
  - (1)ダンプ窓の耐圧問題はない
  - (2)水素ガスの発生がない
  - (3) ガスダンプ案よりは、短い
  - (5) 電力エネルギー回収の可能性あり



Inter-University Research Institute Corporation High Energy Accelerator Research Organization

KEK

- Green-ILC の観点から、プラズマ減速ダンプシステムを考察することは意味がある。
- ただ、ILCのような細長いビームで働くかの検証が必要。
- 例えば、衝突点のあと、バンチコンプレッサーなどを入れてプラズマ減速ダンプに適したビーム形状にするなどの工夫が必要かもしれない。
- Green-ILCの観点からは、どのシステムによってエネルギー回収が効率的に行えるかが鍵。



Inter-University Research Institute Corporation High Energy Accelerator Research Organization

KEK

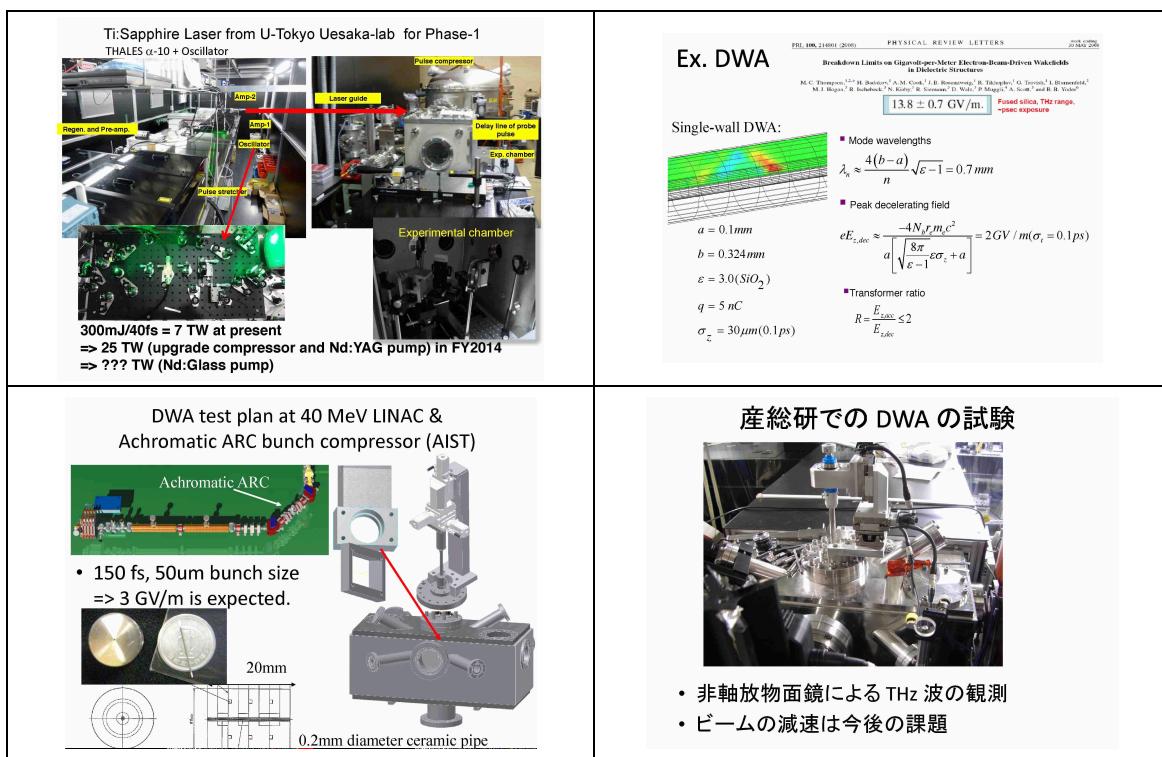
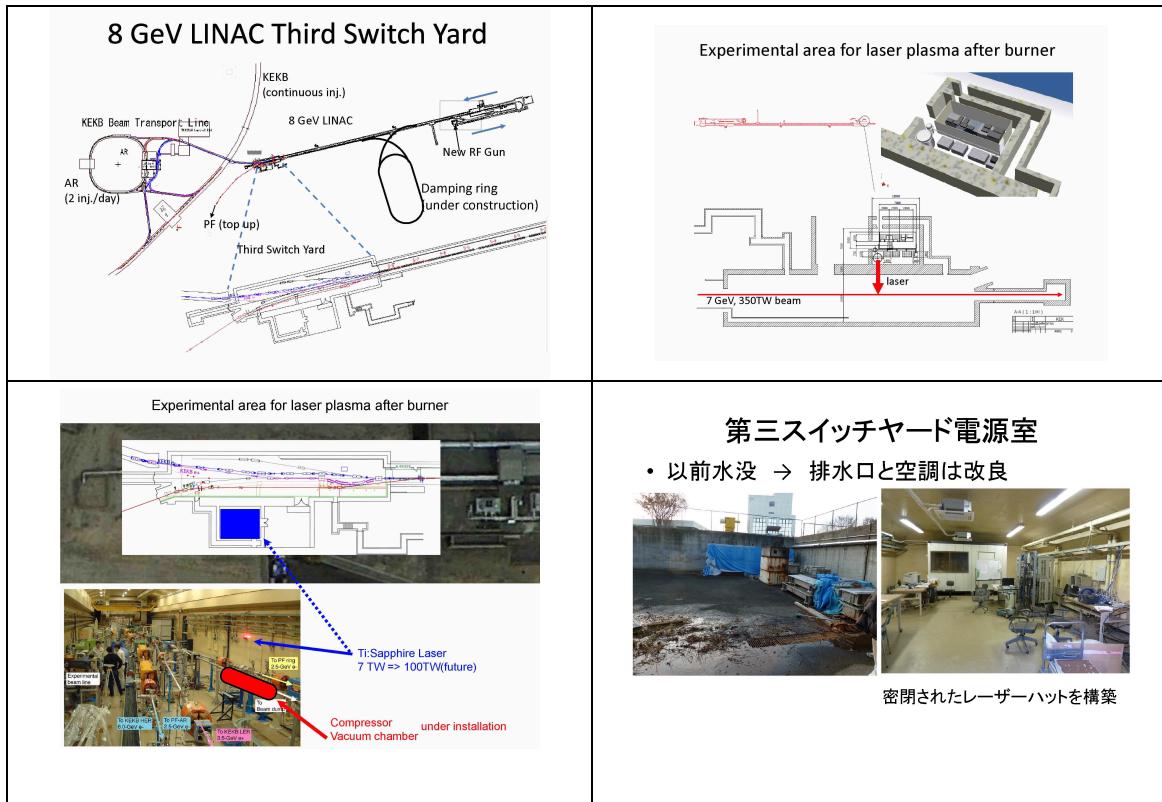
# Status of charged particle acceleration and deceleration by Plasma

## (Mituhiko Yoshida, KEK)

<p><b>プラズマによる荷電粒子の加速・減速に関する研究の現状</b></p> <p>第6回AAA グリーン-ILC WG 会合 2015.02.18 吉田 光宏 (KEK)</p>	<p><b>Novel Accelerator (新奇加速) の技術開発</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・超高電界加速器の技術開発:       <ul style="list-style-type: none"> <li>- 高Q ⇌ THz</li> <li>THz: レーザー、電子ビーム、非線形光学素子</li> <li>- 光伝導スイッチ</li> </ul> </li> </ul>																																				
<p><b>加速器の電界を大幅に上げるには</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・耐圧の高い媒質           <ul style="list-style-type: none"> <li>× 金属</li> <li>◎ プラズマ</li> <li>○ 誘電体</li> </ul> </li> <li>• 体積を小さくする or 蓄積エネルギーを上げる</li> </ul> <p>周波数の高い加速器: THz    従来のGHz帯加速方式    → 20GHz以上の高周波源が無い    - 100 fs 程度の超短パルスと    プラズマ or 誘電体による変換    • レーザー駆動    • 電子ビーム駆動    • 陽子ビーム駆動</p> <p>Q値の高い材料    常伝導Cu: Q~10,000    超伝導Nb: Q~10<sup>10</sup> しかし電界&lt;40MV/m    誘電体: Q~10<sup>6</sup></p> <p>私の最近の研究テーマ    SLAC/KEK等で可能&amp;世界最高電圧の実績    CERN/J-PARC等で可能→パンチ圧縮が問題</p>	<p><b>現時点での成果が出ている新奇加速方式</b></p> <p>レーザー駆動加速器    レーザープラズマ加速(LWFA)    レーザー誘電体加速</p> <p>これらは THz の加速器 プラズマ加速 (PWFA)</p>																																				
<p><b>レーザープラズマ加速 及び他の高電界加速の世界的な状況</b></p> <p>Most of intense laser facilities worldwide are utilized for R&amp;D on laser-plasma-based acceleration as the next generation particle and radiation sources</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・レーザープラズマ加速: 世界的に多数の新しい施設が建設中       <ul style="list-style-type: none"> <li>- 30fs 程度で 1 PW という Thales の商品</li> <li>- 500fs 程度で 1 PW の超大型施設(低繰り返し)</li> </ul> </li> <li>・ビーム駆動の超高電界加速: SLAC/FACET が唯一の大型施設</li> </ul>	<p><b>超短パルスを作るための圧縮</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・パンチ圧縮には エネルギー差が必要       <ul style="list-style-type: none"> <li>- レーザー: CPA(チャバーパルス増幅)</li> <li>- ビーム: 位相回転</li> </ul> </li> </ul> <p>面積は一定で保存するので エネルギー差を大きくしないと超短パンチにはならない</p> <p>元のパンチ長:    電子ビーム: 3 mm (10ps)    陽子ビーム: 60mm (200ps)</p> <p>同じパンチ長へ圧縮するには 20倍のエネルギー広がりが必要</p> <p>進行方向    傾き付けるための高周波加速    シケイン等でエネルギー依存の経路差</p>																																				
<p><b>THzのプラズマ振動による加速</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・なぜプラズマが必要か?       <ul style="list-style-type: none"> <li>- 電磁波(レーザー)は横波なので進行方向の電界が無く加速できない</li> <li>- ビームも相対論的になると後続のビームにエネルギーを渡せない(後続のビームが駆動ビームを減速しないと変換できない)</li> </ul> </li> <li>・超短パルス(&lt;100fs)の       <ul style="list-style-type: none"> <li>- レーザー場のポンデロモーティカ</li> <li>- または電子・陽子パンチのクーロン力がプラズマ電子を排除。</li> </ul> </li> <li>・プラズマイオンの復元力で電子を引き戻す。</li> <li>・プラズマ振動が起こる → このプラズマ振動の周波数が THz</li> </ul>	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>常伝導</th> <th>超伝導</th> <th>電子ビーム駆動</th> <th>レーザー駆動</th> <th>陽子ビーム駆動</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>駆動エネルギー</td> <td>6/12GHz 20J /m = 40MW × 500ns</td> <td>1.3GHz 200J /m = 300kW × 700μs</td> <td>5THz (50fs) 70J (SLAC) = 23GeV × 3nC 35J (KEK) = 7GeV × 5nC</td> <td>5THz (50fs) 40J (→ 1kJ) 15kJ (SPS) = 450GeV × 30nC 150kJ (LHC) = 7TeV × 20nC 300kJ (J-PARC MR) = 40GeV × 8μC</td> <td>? THz (後述)</td> </tr> <tr> <td>電界</td> <td>40/80MV/m 放電限界</td> <td>40MV/m クエンチ</td> <td>20GV/m × 2m = 40 GV</td> <td>10 GV/m</td> <td>?</td> </tr> <tr> <td>繰り返し</td> <td>50Hz</td> <td>5Hz</td> <td>50Hz</td> <td>10Hz</td> <td>1/18 Hz (SPS) 0.3 Hz (J-PARC MR)</td> </tr> <tr> <td>ビーム電力/駆動/AC</td> <td>400W / 1 kW / 8 kW (1m辺り)</td> <td>10 MW / 23 MW / 150 MW (ILC)</td> <td>?</td> <td>4 W? / 400W / 4kW(LD)</td> <td>? / 833W/75MW (SPS) / 300kW/25MW (J-PARC)</td> </tr> <tr> <td>効率</td> <td>5% ?</td> <td>8%</td> <td>5%(電子生成) × η(e→e)</td> <td>現状 0.1 % ? 1%(陽子ビーム生成) × η(p→e)</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		常伝導	超伝導	電子ビーム駆動	レーザー駆動	陽子ビーム駆動	駆動エネルギー	6/12GHz 20J /m = 40MW × 500ns	1.3GHz 200J /m = 300kW × 700μs	5THz (50fs) 70J (SLAC) = 23GeV × 3nC 35J (KEK) = 7GeV × 5nC	5THz (50fs) 40J (→ 1kJ) 15kJ (SPS) = 450GeV × 30nC 150kJ (LHC) = 7TeV × 20nC 300kJ (J-PARC MR) = 40GeV × 8μC	? THz (後述)	電界	40/80MV/m 放電限界	40MV/m クエンチ	20GV/m × 2m = 40 GV	10 GV/m	?	繰り返し	50Hz	5Hz	50Hz	10Hz	1/18 Hz (SPS) 0.3 Hz (J-PARC MR)	ビーム電力/駆動/AC	400W / 1 kW / 8 kW (1m辺り)	10 MW / 23 MW / 150 MW (ILC)	?	4 W? / 400W / 4kW(LD)	? / 833W/75MW (SPS) / 300kW/25MW (J-PARC)	効率	5% ?	8%	5%(電子生成) × η(e→e)	現状 0.1 % ? 1%(陽子ビーム生成) × η(p→e)	
	常伝導	超伝導	電子ビーム駆動	レーザー駆動	陽子ビーム駆動																																
駆動エネルギー	6/12GHz 20J /m = 40MW × 500ns	1.3GHz 200J /m = 300kW × 700μs	5THz (50fs) 70J (SLAC) = 23GeV × 3nC 35J (KEK) = 7GeV × 5nC	5THz (50fs) 40J (→ 1kJ) 15kJ (SPS) = 450GeV × 30nC 150kJ (LHC) = 7TeV × 20nC 300kJ (J-PARC MR) = 40GeV × 8μC	? THz (後述)																																
電界	40/80MV/m 放電限界	40MV/m クエンチ	20GV/m × 2m = 40 GV	10 GV/m	?																																
繰り返し	50Hz	5Hz	50Hz	10Hz	1/18 Hz (SPS) 0.3 Hz (J-PARC MR)																																
ビーム電力/駆動/AC	400W / 1 kW / 8 kW (1m辺り)	10 MW / 23 MW / 150 MW (ILC)	?	4 W? / 400W / 4kW(LD)	? / 833W/75MW (SPS) / 300kW/25MW (J-PARC)																																
効率	5% ?	8%	5%(電子生成) × η(e→e)	現状 0.1 % ? 1%(陽子ビーム生成) × η(p→e)																																	

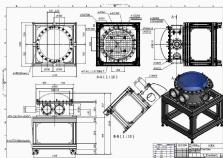
<p>K.Lotov, AFAD-2013 (Novosibirsk), 25.02.2013</p> <p><b>Second key idea: multi-bunch wakefield excitation</b></p> <p><b>Single bunch:</b> LHC beam: <math>\sigma_z = 7.6 \text{ cm}</math>, energy spread = 0.01% Conservation of phase volume: energy spread = 7.6% = 500 GeV for 7 TeV beam compressed to 0.1 mm ILC-scale compression section may be too expensive...</p> <p><b>Bunch train:</b> For <math>n_0 = 10^{15} \text{ cm}^{-3}</math>, the length of the 10 bunch train is 1 cm. The required correlated energy spread is 0.076% * 2 (we use 2 <math>\sigma_z</math>) * 4 (for bunching) = 0.6% = 42 GeV (reasonable).</p> <p><b>Self-modulating beam (cheap and easy):</b> No compressor, no chopper, just let the plasma to modulate the beam via the transverse two-stream instability: modulation of the beam radius produces modulation of the (de)focusing force, which further changes beam radius etc.</p>	<p>K.Lotov, AFAD-2013 (Novosibirsk), 25.02.2013</p> <p><b>Road to the experimental test</b></p> <p>AWAKE collaboration (&gt;60 physicists from &gt;25 institutes) aimed at experiments with 400 GeV proton beam of SPS synchrotron (CERN), now at conceptual &amp; technical design stage.</p> <p>Site map showing the proposed site for the experiment.</p>
<p><b>KEK固有の展開 (FY2011からの活動状況)</b></p> <p>レーザープラズマ加速</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* レーザー移設(東大より)</li> <li>* レーザー開発</li> <li>* プラズマチャンネルの開発</li> </ul> <p>誘電体加速</p>	<p>レーザープラズマ加速によるアフターバーナー(追加速)実験</p> <p>従来加速器によるビーム： ・高密度電子銃 ・超短パンチ圧縮 ~50fs</p> <p>レーザープラズマ加速によるアフターバーナー(追加速) ・長尺プラズマチャンネル ・1加速ユニット当たり 5 GV/m × 20cm = 1GeV</p> <p>電子源 従来型加速器 圧縮</p> <p>電子銃用レーザー 同期 ~30fs</p> <p>高速度レーザー</p> <p>導入済(Ti:Sapphire) : 5 TW × 100fs = 0.5J × 10Hz 開発中(Yb:YAG) : 50TW × 200fs = 10 J × 50Hz</p> <p>レーザープラズマ加速の中での <b>既存実験手法</b> によりアフターバーナー実証実験を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ フラッシュ振動の線形領域：低密度プラズマ</li> <li>・ 安定な1~10J程度のレーザー</li> <li>・ <b>提案型加速器による外部注入</b></li> </ul> <p>既存加速器内で 加速デモンストレーションを行い認知度を高める</p> <p>(self Injection / Nonlinear Acceleration KEK ではやらない)</p> <p>高電荷 超低エネルギー &lt; 5nC 非常に安定 (エネルギー <math>\Delta E/E &lt; 0.1\%</math>) で超短パンチの電子ビーム → レーザープラズマ加速の最適化、測定等</p>

<p><b>ビーム / レーザー複合試験スタンドでの After burner / Staging の開発</b></p> <p>12 TW laser Experimental Area</p> <p><math>\sigma_z = 1 \text{ ps}</math>, <math>q &gt; 5 \text{nC}</math>, <math>ex,y &lt; 20 \text{ mm} \cdot \text{mrad}</math></p> <p>Total length ~400m =&gt; 9 GeV</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>レーザー変調電子銃によるビーム航跡場の昇圧比向上</li> <li>レーザー自己入射によるビーム航跡場の観測</li> <li>円偏波を利用した電子パンチの単色加速</li> </ul>	<p><b>ビーム・レーザー複合設備でのアフターバーナー実証試験</b></p> <p>J-ARC: Isochromatic Achromatic <math>\sigma_z = 10 \text{ ps}</math>, <math>q &gt; 5 \text{nC}</math>, <math>ex,y &lt; 20 \text{ mm} \cdot \text{mrad}</math></p> <p>~a few 100 fs Total length: ~400m =&gt; 7 GeV e- 7 GeV, 5nC <math>\sigma_{x,y} = 35 \mu\text{m}</math> (<math>\beta \sim 1 \text{ m}</math>) / 100fs = 350 TW</p> <p>1 GeV = 40m (8 クライストロン) : ~20億円</p> <p>レーザープラズマ加速 &lt; 1m レーザー: 10J ~5億円</p>
<p><b>High density electron beam in KEK LINAC</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Injection for the SuperKEKB (5nC, 7GeV)</li> <li>Ultra high field experiment <ul style="list-style-type: none"> <li>Beam driven accelerator (DWA, PWFA)</li> <li>Injector for laser plasma accelerator (After burner)</li> </ul> </li> <li>Photon generation</li> </ul> <p>Advanced RF-Gun</p> <p>Low emittance (&lt; 10 mm mrad) High charge (&gt; 5 nC) Short bunch length (fs) 4-stage bunch compression → Bunch shape control / precise synchronization</p>	<p><b>FACET at SLAC</b></p> <p>Two stage bunch compression.</p> <p>North Damping Ring, South Damping Ring 1.19 GeV, <math>\sigma_z = 5.5 \text{ mm} = 18 \text{ ps}</math>, <math>ex,y = 50 \times 5 \text{ mm} \cdot \text{mrad}</math></p> <p>Facet Sector 10, 0.4 ps</p> <p>Positron Source, FFTB = 2006, LCLS Injector, LCLS</p> <p>Position Target, CTR/Thr, Focal Point (IP)</p> <p>At FFTB experiment : Gradient : PWFA(&gt;30GV/m), DWA(&gt;16GV/m). Total acceleration voltage : &gt; a few 10 GeV.</p>



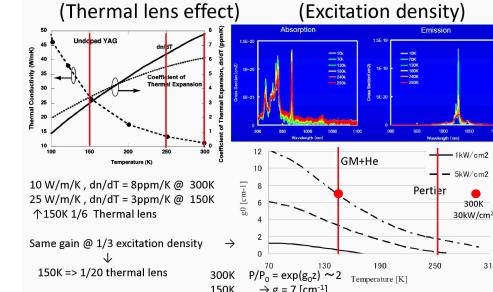
<p><b>THz 誘電体加速</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>THz での誘電体加速           <ul style="list-style-type: none"> <li>10mJ (1.2THz) と現行加速器の 100J (12GHz) が同じ加速電圧</li> <li>高強度 THz はシングルサイクル～数サイクル → 垂直入射は不可 → ブリズム入射方式</li> </ul> </li> </ul> <p>Microchip Laser (分子研) Parametric THz 発生 (仙台理研/南出研) (KEK) <math>e^-</math> <math>L \approx 20\text{nm}</math> <math>I_{\text{peak}} \approx 10\text{nA}</math> <math>\text{DC MAX} \approx 10\text{nA}</math> <math>B \approx 10\mu\text{T}</math> <math>t_{\text{FWHM}} \approx 10\text{ps}</math> Waveguide <math>H = \frac{\lambda}{2(n-1)}</math> 回折格子深さ: <math>(n-1)H = \frac{\lambda}{2}</math> レーザー駆動で実験中 THz の格子も製作済</p>	<p><b>Low density and long plasma waveguide for LWFA afterburner experiment</b></p>																													
<p><b>Possible experimental region for LWFA</b></p> <p><math>t_L = 100\mu\text{m}</math>, Elaser = 1J, 20J, 1kJ Standard LWFA experiments Phase-1 Phase-2 Phase-3 Phase-3(2019) 1kJ 56V/m × 20cm = 1GeV 20J 1J OPCPA Ti:Sapphire (already installed) Yb:CaF<sub>2</sub> Yb:YAG Cryogenic Yb:YAG FWHM(ns)</p>	<p><b>Plasma waveguide</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Gas filled capillary with electric discharge :           <ul style="list-style-type: none"> <li>Slow mode (Simon's method) Simmer Discharging (100μs) =&gt; 200~300A, a few 100 ns Capillary diameter = 200-500μm</li> <li>Fast Z-Pinch mode (Hosokai's idea) 1kA, 10ns Capillary diameter = 1mm</li> </ul> </li> </ul> <p>=&gt; Pulsed HV power supply for both mode is required.</p>																													
<p><b>Preliminary test for Electric Discharging Plasma Channel</b></p> <p>Photoconductive switch for Fast Z-Pinch</p> <p>Device Current(A) vs Time(ns) graph showing current pulse generation.</p>	<p><b>Laser development in KEK</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Material</th> <th>Wavelength</th> <th>Ti:YAG</th> <th>Yb:YAG</th> <th>Ti:Sapphire</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fluorescent time</td> <td>230 fs</td> <td>300 fs</td> <td>3.2 ns</td> </tr> <tr> <td>Spectral width</td> <td>0.87 nm</td> <td>0.8 nm</td> <td>440 nm</td> </tr> <tr> <td>Pulse width</td> <td>2.40 fs</td> <td>195 fs</td> <td>250 fs</td> </tr> <tr> <td>Wavelength</td> <td>807 nm</td> <td>1035 nm</td> <td>532 nm</td> </tr> <tr> <td>Energy</td> <td>1.5 J</td> <td>1.0 J</td> <td>200 mJ</td> </tr> <tr> <td>Quantum efficiency</td> <td>70%</td> <td>81%</td> <td>55%</td> </tr> </tbody> </table>	Material	Wavelength	Ti:YAG	Yb:YAG	Ti:Sapphire	Fluorescent time	230 fs	300 fs	3.2 ns	Spectral width	0.87 nm	0.8 nm	440 nm	Pulse width	2.40 fs	195 fs	250 fs	Wavelength	807 nm	1035 nm	532 nm	Energy	1.5 J	1.0 J	200 mJ	Quantum efficiency	70%	81%	55%
Material	Wavelength	Ti:YAG	Yb:YAG	Ti:Sapphire																										
Fluorescent time	230 fs	300 fs	3.2 ns																											
Spectral width	0.87 nm	0.8 nm	440 nm																											
Pulse width	2.40 fs	195 fs	250 fs																											
Wavelength	807 nm	1035 nm	532 nm																											
Energy	1.5 J	1.0 J	200 mJ																											
Quantum efficiency	70%	81%	55%																											

**Upgrade of Ti:Sapphire Laser**

- New compressor using transmission grating
 
- Cryogenic Yb:YAG DPSS Pump
  - 1.5 inch Yb:YAG disk
  - 150K Yb:YAG with He-gas cooling
  - 9kW × 40 = 360kW
  - 10J/module

**Cryogenic Yb:YAG**

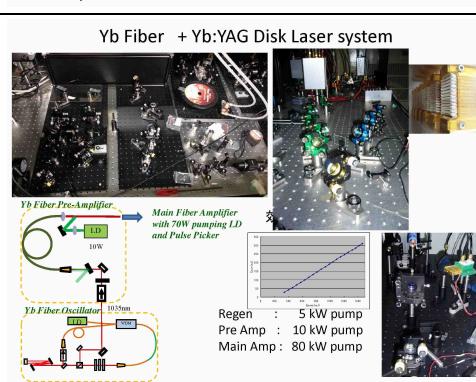
- Improvement of thermal and emission property (Thermal lens effect) (Excitation density)



10 W/m/K,  $d\eta/dT = 8 \text{ ppm/K}$  @ 300K  
 25 W/m/K,  $d\eta/dT = 3 \text{ ppm/K}$  @ 150K  
 $\uparrow 150K$  1/6 Thermal lens

Same gain @ 1/3 excitation density →  
 $150K \Rightarrow 1/20$  thermal lens  
 $300K \rightarrow P/P_0 = \exp(g_{\text{eff}}) \sim 2$   
 $150K \rightarrow g = 7 \text{ [cm}^{-1}\text{]}$

**Yb Fiber + Yb:YAG Disk Laser system**



**Yb Fiber Pre-Amplifier:**  
 Main Fiber Amplifier with 70W pumping LD and Pulse Picker  
 Yb Fiber Oscillator 105nm  
 Regen : 5 kW pump  
 Pre Amp : 10 kW pump  
 Main Amp : 80 kW pump

**スケジュール(FY2011-2018)**



- 完了:
  - フェムト秒発振器開発
  - 12TWレーザー移設(東大との共同研究+名大)
- 進行中:
  - レーザーの増強
    - 高強度Ybディスクレーザー開発(>10J)
    - 透過型グリーティングによるコンプレッサー
  - 長距離プラズマチャンネル開発
  - アフターバーナーの評価

**Plasma Beam Damp for ILC**

**Plasma Damp**

- 250 GeV のビームを数10mで減速する
- ダンプにおける高エネルギーミュオンの生成を抑える
- プラズマのエネルギーを回収する?

**Collective stopping power**  
 (ビームから航跡場のエネルギー)

$$-\left(\frac{dE}{dx}\right)_{CWB} = m_e c \omega_{pe} \left( \frac{n_b}{n_e} \right)$$

H.C. Wu, et al, PR-STAB, 13, 101303 (2010).

$m_e$ : 電子の質量     $c$ : 光速     $\omega_{pe} = (4\pi e^2 n_e / m_e)^{1/2}$  : 電子プラズマ周波数  
 $= 5.64 \times 10^4 n_e^{1/2} \text{ rad/s}$

$n_e$ : 標的電子の密度     $n_b \simeq N_b / (\sigma_L \sigma_T^2)$ , パンチの数密度

$N_b$ : パンチ内の粒子数,     $\sigma_L$ : パンチ長,     $\sigma_T$ : パンチの幅

線形共鳴条件

$$\frac{\sigma_L}{\lambda_{pe}} = \frac{\sigma_L \omega_{pe}}{2\pi c} \sim \frac{1}{2}$$

但し、  $\frac{\sigma_T}{\lambda_{pe}} \geq 0.3$      $\frac{n_b}{n_e} < 10$

**Collective stopping powerの試算**

stopping powerの式と共鳴条件の式から

$$-\left(\frac{dE}{dx}\right)_{CWB} [\text{eV/cm}] = 0.96 n_e^{1/2} [\text{cm}^{-3}] \left( \frac{n_b}{n_e} \right)$$

$$= 5.8 \times 10^{-7} \frac{N_b}{\sigma_T^2 [\text{cm}]} \text{ [eV/cm]}$$

$$L_{dump} [\text{m}] \approx 1.7 \times 10^{13} \frac{\sigma_T^2 [\text{cm}]}{N_b} E_0 [\text{GeV}]$$

但し、  $\sigma_T \geq 0.6\sigma_L$  &  $\sigma_T \geq 1.9 \times 10^{-6} \sqrt{N_b \sigma_L}$

ILC     $N_b = 2 \times 10^{10}$      $E_0 = 500 \text{ GeV}$

$$L_{dump} [\text{m}] \approx 4.3 \times 10^5 \sigma_T^2 [\text{cm}]$$

$$\sigma_T \geq \frac{0.33\sqrt{\sigma_L}}{0.6\sqrt{\sigma_L}}, 0 \leq \sigma_L \leq 0.25 \text{ cm (8.3ps)}$$

$$\sigma_L \geq 0.25 \text{ cm}$$

パンチサイズを小さく

$$L_{dump} [\text{m}] \approx 4.3 \times 10^5 \sigma_T^2 [\text{cm}]$$

長さを10mにするには  $\sigma_T \approx 50\mu\text{m}$

$$\sigma_L \approx 3\sigma_T \approx 150\mu\text{m}$$

(510fs)

プラズマの電子密度と初期水素分子の密度は、

$$n_e = 3.1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$$

$$P(\text{RT}) = 0.1 \text{ mbar - H}_2$$

#### ILCでのパンチ圧縮の可能性

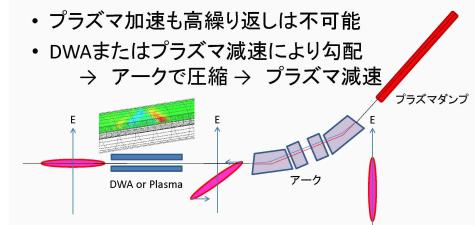
- 衝突後のエネルギー分布:

↓

- 高周波空洞の勾配では不可能

- プラズマ加速も高繰り返しは不可能

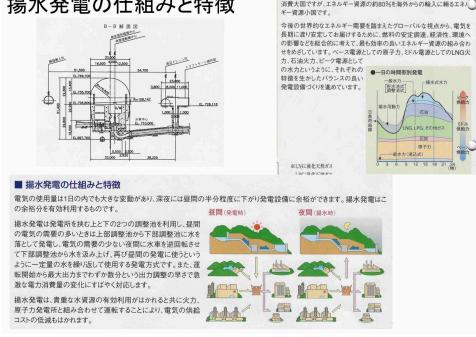
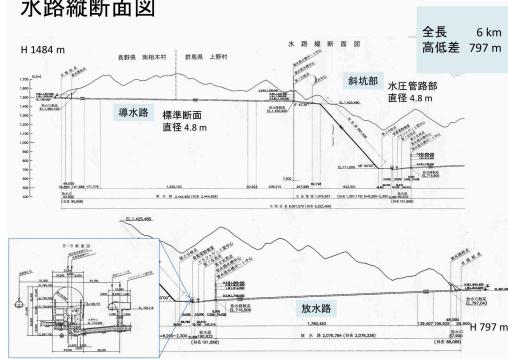
- DWAまたはプラズマ減速により勾配  
→ アークで圧縮 → プラズマ減速



# Utilization of Stored Energy in Iron

## (Kenji Hosoyama, KEK)

<p><b>鉄を利用したエネルギー貯蔵によるエネルギーの有効利用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>はじめに</li> <li>深夜電力の有効利用</li> <li>鉄は蓄冷材として優れている?</li> <li>熱機関(カルノーサイクル)とエネルギーの質</li> <li>電気エネルギーの貯蔵 熱、水の位置、磁場</li> <li>揚水、風力、地熱、圧縮空気、太陽光、太陽熱発電</li> <li>鉄による熱エネルギー貯蔵によるエネルギーの有効利用</li> </ul> <p>KEK K. Hosoyama</p>	<p><b>はじめに</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>地球温暖化防止のCO<sub>2</sub>排出抑制の実現に向けて、世界的な規模で、水力、風力、太陽光、地熱、バイオなどの再生可能なエネルギーへの関心が高まっている。我が国では大震災による福島原発事故の事故によって原発への信頼が大きく失われ、今後のエネルギー政策の大きな見直しが迫られ、再生可能なエネルギーの利用が真剣に検討されている。</li> <li>我が国に建設が計画されている大型加速器装置 ILC は大電力を必要とし、エネルギー問題も含めた形で設計計画を推進していくなければならない。</li> <li>風力、太陽電池等による再生可能なエネルギーは、出力が天候に左右されるため不安定で、その実用化の大きな障害となっているが、電気エネルギーを熱エネルギーに変換して貯蔵し、必要に応じて電力として再び、取り出すより容易に解決される。</li> </ul>
<p><b>電気温水器と給温水配管</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>断熱容器</li> <li>断熱配管</li> <li>お湯が出るまでに時間がかかる 無駄な水を消費する 温水の温度が下がる</li> </ul>	<p><b>電気温水器と給温水配管</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>高性能な断熱容器が必要 家庭用の小規模の蓄熱器では 高性能な断熱技術が要求される</li> <li>使用中に温度が下がる → 蓄熱温度を100°C以上にする</li> </ul>
<p><b>蓄熱材としての水と金属(鉄)の比較</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>水は比熱が1と大きく、蓄熱材として優れている</li> <li>100°Cで沸騰するため、高い温度で使用出来ない</li> <li>100°C以上で使用する場合は高压容器が必要 機関車 350°C 16 ata 火力発電 600°C 250 ata 原子力発電 284°C 68 ata</li> <li>金属(鉄)は比熱が約0.1と小さく、蓄熱材としては劣っているが、比重が約8と大きいため、単位体積あたりの熱容量は水とほぼ同じ(0.8倍)</li> <li>高い温度での100°C以上(800°C)での使用が可能</li> <li>断熱が重要</li> <li>装置が重くなる</li> </ul>	<p><b>有効な熱エネルギー 热エネルギーの質</b></p> <p>理想的な熱機関 カルノーサイクル</p> <p>可逆サイクル</p> $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$ <p>高熱源 <math>T_1</math></p> <p>低熱源 <math>T_2</math></p> <p>エントロピー <math>\Delta S = Q_2/T_2</math></p> <p>理想的な熱機関の例</p> <p>高熱源 100 °C 373 K</p> <p>低熱源 10 °C 283 K</p> <p>100 °Cの高熱源から熱 <math>Q_1</math> (100J)を受け取って、76% の熱を低熱源に排出して、24% の仕事を生み出す。</p> $W = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{100 - 24}{100} = 0.76$ $W = \frac{100 - 24}{100} = 0.76$
<p><b>熱エネルギーの質 (熱力学的な考察)</b></p> <p>高温度での熱エネルギーの保存</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>蓄積熱量 = 比熱 × 温度 を大きくすることができる</li> <li>質の高い熱エネルギーとしての保存できる</li> </ol> <p>電気エネルギーとして再利用する場合は重要</p> <p>理想的なエンジン カルノーサイクル</p> $Q_1 - Q_2 = W$ $\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}$ $W = Q_1 \frac{T_1 - T_2}{T_1}$ $\frac{W}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$ <p>地熱発電</p> $T_1 = 150^\circ\text{C}$ $T_2 = 35^\circ\text{C}$ $W/Q_1 = 0.27$ <p>火力発電</p> $T_1 = 600^\circ\text{C}$ $T_2 = 35^\circ\text{C}$ $W/Q_1 = 0.65$ <p>汽車、原子力発電</p> $T_1 = 350^\circ\text{C}$ $T_2 = 35^\circ\text{C}$ $W/Q_1 = 0.51$ <p>蓄熱発電</p> $T_1 = 800^\circ\text{C}$ $T_2 = 35^\circ\text{C}$ $W/Q_1 = 0.71$	<p><b>電気エネルギーの貯蔵</b></p> <p><b>電気エネルギーの貯蔵は難しい</b></p> <p>電力 電気エネルギー</p> <p>蓄電池 化学エネルギー</p> <p>コンデンサー 電気エネルギー</p> <p>SMES 磁気エネルギー</p> <p>水素 燃料電池 化学エネルギー</p> <p>揚水発電 位置エネルギー</p> <p>フライホイール 運動エネルギー</p> <p>圧縮ガス貯蔵</p> <p>太陽のエネルギー 化石燃料 水力、風力 太陽光、太陽熱 バイオ燃料 原子力</p> <p>たいいへんな 労力を使って 電気エネルギー に変換</p> <p>最終的に熱エネルギーとして使用するなら OK 電気エネルギーに再変換する もったいない?</p>

<p><b>鉄と水の蓄積熱量の比較</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>鉄</th> <th>水</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> <math>\Delta E = m \times C_p \times \Delta T</math>  <math>= 8000 \text{ kg} \times 0.1 \text{ kcal/kg/}^{\circ}\text{C} \times 500^{\circ}\text{C} \times 4.2 \text{ kJ/}^{\circ}\text{C}</math>  <math>= 1680000 \text{ kJ} = 1.68 \text{ GJ}</math> </td> <td> Heat Capacity of Water  <math>C_{c.c.} = 4.2 \text{ J/g.}^{\circ}\text{C}</math>  <math>C_p = 4.2 \text{ kJ/L.}^{\circ}\text{C}</math>  <math>C_{m3} = 4.2 \text{ MJ/m}^3.{}^{\circ}\text{C}</math>   <math>\Delta T = 100^{\circ}\text{C}</math>   <math>1 \text{ m}^3 \sim 0.42 \text{ GJ}</math> </td> </tr> <tr> <td> <math>\text{Specific Heat } C_p \sim 1/10 \text{ kcal/kg/}^{\circ}\text{C}</math>  <math>Density \rho \sim 8 \text{ kg/L}</math>   <math>Heat Capacity per Volume Cv</math>  <math>C_v = C_p \times \rho</math>   <math>Heat Capacity of Iron/volume</math>  <math>= 0.8 \times Heat Capacity of Water</math>   Weight = 8 ton Very Heavy </td> <td> Energy required to rise the temperature 1°C of 1 m³ water  <math>E = 4.2 \text{ MJ}</math>   Energy required to rise the temperature 1°C of 1 m³ iron  <math>E = 0.8 \times 4.2 \text{ MJ} = \sim 3.4 \text{ MJ}</math>   Energy required to rise the temperature 500°C of 1 m³ iron  <math>E \approx 1700 \text{ MJ} \approx 1.7 \text{ GJ}</math> </td> </tr> </tbody> </table>	鉄	水	$\Delta E = m \times C_p \times \Delta T$ $= 8000 \text{ kg} \times 0.1 \text{ kcal/kg/}^{\circ}\text{C} \times 500^{\circ}\text{C} \times 4.2 \text{ kJ/}^{\circ}\text{C}$ $= 1680000 \text{ kJ} = 1.68 \text{ GJ}$	Heat Capacity of Water $C_{c.c.} = 4.2 \text{ J/g.}^{\circ}\text{C}$ $C_p = 4.2 \text{ kJ/L.}^{\circ}\text{C}$ $C_{m3} = 4.2 \text{ MJ/m}^3.{}^{\circ}\text{C}$  $\Delta T = 100^{\circ}\text{C}$  $1 \text{ m}^3 \sim 0.42 \text{ GJ}$	$\text{Specific Heat } C_p \sim 1/10 \text{ kcal/kg/}^{\circ}\text{C}$ $Density \rho \sim 8 \text{ kg/L}$  $Heat Capacity per Volume Cv$ $C_v = C_p \times \rho$  $Heat Capacity of Iron/volume$ $= 0.8 \times Heat Capacity of Water$  Weight = 8 ton Very Heavy	Energy required to rise the temperature 1°C of 1 m³ water $E = 4.2 \text{ MJ}$  Energy required to rise the temperature 1°C of 1 m³ iron $E = 0.8 \times 4.2 \text{ MJ} = \sim 3.4 \text{ MJ}$  Energy required to rise the temperature 500°C of 1 m³ iron $E \approx 1700 \text{ MJ} \approx 1.7 \text{ GJ}$	<p><b>磁気エネルギーの貯蔵</b> (SMES: Superconducting Magnet Energy Storage)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Stored Magnetic Energy E  <math>E = 1/\mu_0 \times B^2 \times V = 10/(4\pi) B^2 \times V [\text{MJ}]</math>  <math>E = \frac{1}{2} L I^2</math></li> </ul> <p>Case 1: <math>B = 5\text{T}, (V = 1 \text{ m}^3)</math>  <math>E = 20\text{MJ}</math></p> <p>Case 2: <math>B = 10\text{T} (V = 1 \text{ m}^3)</math>  <math>E = 80\text{MJ}</math></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Stored energy of LHC  <math>15 \text{ GJ} (\text{including Detector magnets})</math></li> </ul> <p>現在実用化されている 10T 級の超伝導マグネットでは、磁気エネルギー貯蔵量は熱エネルギーによる貯蔵量に比べてはるかに小さい。 瞬停対策用等の短時間での電力供給に利用されている。</p>
鉄	水						
$\Delta E = m \times C_p \times \Delta T$ $= 8000 \text{ kg} \times 0.1 \text{ kcal/kg/}^{\circ}\text{C} \times 500^{\circ}\text{C} \times 4.2 \text{ kJ/}^{\circ}\text{C}$ $= 1680000 \text{ kJ} = 1.68 \text{ GJ}$	Heat Capacity of Water $C_{c.c.} = 4.2 \text{ J/g.}^{\circ}\text{C}$ $C_p = 4.2 \text{ kJ/L.}^{\circ}\text{C}$ $C_{m3} = 4.2 \text{ MJ/m}^3.{}^{\circ}\text{C}$  $\Delta T = 100^{\circ}\text{C}$  $1 \text{ m}^3 \sim 0.42 \text{ GJ}$						
$\text{Specific Heat } C_p \sim 1/10 \text{ kcal/kg/}^{\circ}\text{C}$ $Density \rho \sim 8 \text{ kg/L}$  $Heat Capacity per Volume Cv$ $C_v = C_p \times \rho$  $Heat Capacity of Iron/volume$ $= 0.8 \times Heat Capacity of Water$  Weight = 8 ton Very Heavy	Energy required to rise the temperature 1°C of 1 m³ water $E = 4.2 \text{ MJ}$  Energy required to rise the temperature 1°C of 1 m³ iron $E = 0.8 \times 4.2 \text{ MJ} = \sim 3.4 \text{ MJ}$  Energy required to rise the temperature 500°C of 1 m³ iron $E \approx 1700 \text{ MJ} \approx 1.7 \text{ GJ}$						
<p><b>水の位置エネルギーを利用する 揚水発電</b></p> <p>水の位置エネルギー  <math>U [J] = 9.8 \text{ W}[kg] \times H [m]</math></p> <p>1 m³ の水、<math>\Delta H = 100 \text{ m}</math> 場合の位置エネルギー  <math>U = 9.8 \times 1000 \times 100 [J] = \text{約 } 1 \text{ MJ}</math></p> <p>1.7 GJ の位置エネルギーを得るため必要な水の体積 V は?      落差が 100 m の場合 体積 <math>V = 1700 \text{ m}^3</math>      落差が 300 m の場合 体積 <math>V = 570 \text{ m}^3</math>      落差が 1000 m の場合 体積 <math>V = 170 \text{ m}^3</math></p> <p>注) 1 m³ の鉄を <math>\Delta T = 500^{\circ}\text{C}</math> 温度を上げるのに必要な熱エネルギーは?  <math>E \approx 1700 \text{ MJ} \approx 1.7 \text{ GJ}</math></p>	<p><b>揚水発電の仕組みと特徴</b></p>  <p>■ 揚水発電の仕組みと特徴      日本は世界の二大エネルギー資源の割合を外から輸入に絶えエキスポートする国です。今後の世界の二大エネルギー資源の割合を外から輸入に絶えエキスポートする国です。揚水発電は発電所を以下のような特徴を利用して、電力を長期的に安定して供給するのに、非常に効率的で、経済性、柔軟性への期待が大きいです。ベース電源としての原子炉、火力発電、風力発電、太陽光発電など、他の発電設備との連携によって、電力供給の柔軟性を高めています。</p> <p>揚水発電は発電所を以下のような特徴を利用して、電力を長期的に安定して供給するのに、非常に効率的で、経済性、柔軟性への期待が大きいです。ベース電源としての原子炉、火力発電、風力発電、太陽光発電など、他の発電設備との連携によって、電力供給の柔軟性を高めています。</p> <p>揚水発電は、貴重な資源の有効利用ばかりだと云うだけではなく、第3次公電の組合せで運営することでより電気の供給コスト削減も目指します。</p>						
<p><b>神流川発電所</b></p>  <p>最大出力 282万kW (47万kW×6台)      循環水量 510 m³/sec      有効落差 697 m      有効貯水量 1,267万m³      発電時間 1267/653 × 10000 /3600 hr      ≈ 5.4 hr</p>	<p><b>電力ネットワーク</b></p>  <p>■ 日本と東京電力における水力発電所の最大出力合計      実効出力 1,073,000 kW      実効蓄電容量 1,040 GWh      実効貯水量 1,040 km³</p> <p>■ 東京電力の揚水式発電所一覧      実効出力 1,073,000 kW      実効蓄電容量 1,040 GWh      実効貯水量 1,040 km³</p> <p>効率的な電力ネットワークの構築には、揚水発電所が欠かせません。</p>						
<p><b>水路縦断面図</b></p> 	<p><b>神流川揚水発電所</b></p>  <p>● 上部ダム下流側(上空より撮影) 2003.10撮影 (堤頂高444m 高さ136m 堤体積730万m³)      ● 上部ダム湛水池(右岸より撮影) 2005.11撮影</p> <p>● 下部ダム下流面(上空より撮影) 2003.9撮影 (堤頂高390m 高さ120m 堤体積730万m³)      ● 下部ダム湛水池 2005.11撮影</p>						

### 地下発電所と発電機

### 圧縮空気貯蔵発電

余剰の電力を使って空気を圧縮して高圧のガスとして地下の廃坑などの空洞に貯蔵し、必要に応じて取り出して膨張タービンで動力として取り出で電力に変換する。

### 太陽熱利用の熱貯蔵発電

太陽から得た熱軸エネルギーは反射鏡で集められ、高温の油として熱エネルギーが取り出され、一部は熱交換器で高圧蒸気に変換され、発電に利用される。残りの熱エネルギーは別の熱交換器で溶融塩に渡されて高温の溶融塩の貯蔵タンク内に貯められて、夜間の発電に利用される。

### 風力発電

**風力発電の特徴と問題点**

- 安定した偏西風が期待できないので多様な風を利用できるようにする。
- 台風などの強風に耐える構造にする(強い風のエネルギーを利用する)
- 欧洲の風力発電より出力が不安定になるので、平準化のためのシステムが重要。

風力発電をベースロード電源に近づける努力が必要

**日本の風力発電**

太陽エネルギーの利用

太陽光の利用

DESERET 計画  
SSB (Sahara Solar Breeder) 計画

砂漠での大規模太陽光発電  
長距離電力輸送(直流超伝導送電)

**地熱発電**

地球内部の熱エネルギーを利用する  
・ 地球誕生の過程で取り込まれた隕石の運動エネルギーが熱として蓄積された  
・ 地球内部の放射性物質の崩壊に伴う熱

日本の地熱発電所

世界の地熱発電

「火山大国」の日本は地熱発電の開発が遅れている  
海外では多くの国で地熱発電は行われている

国	容量 (GW)
米国カリフォルニア	16.2
エジプト	15.2
トルコ	14.0
イラン	12.0
アゼルバイジャン	10.0
イタリア	9.0
オーストラリア	8.0
スウェーデン	7.0
マダガスカル	6.0
カナダ	5.0
パキスタン	4.0
中国	3.0
マニラ	2.0
スリランカ	1.0
日本	0.2
世界合計	102.3

<p><b>世界最大の地熱発電所は日本製</b></p> <p>富士電機</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ニュージーランドのカ・アワ・ブルア地熱発電所(14万kW、2010年に運転を開始)を含め4か所を完成、合計出力40万kW</li> </ul> <p>三菱重工</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>九州電力八丁原地熱発電所(2基で合計11万kW)、東北電力川俣地熱発電所(5万kW)、アイスランドのネシャベリル地熱発電所(4基で合計12万kW)、フィリピンのミンダナオ地熱発電所(2基で合計11万kW)、ケニアのオルカニア地熱発電所(2基で合計7万kW)、合計300万kW</li> </ul> <p><b>日本は地熱発電技術の世界の最先進国！</b></p>	<p><b>鉄に電気エネルギーを熱として蓄積する</b></p> <p><b>人工的な地熱貯留層</b></p> <p>電気エネルギー E 100 MW x 10 hours <math>E = 100 \text{ MJ} / \text{sec} \times 3600 \text{ sec} / \text{hr} \times 10 \text{ hr} = 3600 \text{ GJ}</math></p> <p>鉄 1 m<sup>3</sup>, <math>\Delta T = 500^\circ\text{C}</math> <math>E = \sim 1.7 \text{ GJ}</math></p> <p>鉄 3000 m<sup>3</sup>, <math>\Delta T = 500^\circ\text{C}</math> <math>E = 1.7 \text{ GJ} \times 3000 = \sim 5100 \text{ GJ}</math></p> <p>夜間の余剰電力を熱エネルギーとして貯蔵する</p> <p>日中は熱エネルギーを発電機で電気エネルギーに変換する</p> <p>鉄の蓄熱器 重い 基盤にかかる圧力 80 ton/m<sup>2</sup></p> <p>人工的な地熱貯留槽を利用した「地熱発電装置」</p> <p>この規模の地熱発電は既に、国内は勿論のこと世界中で実用運転されている。</p>
<p><b>電気エネルギーの熱エネルギーとしての蓄積</b></p> <p><b>Non-Smart Grid</b></p> <p>風力発電 Wind Farm</p> <p>太陽光発電 Mega Solar</p> <p>電力グリッド 送電線</p> <p>未調整電力</p> <p>余剰電力</p> <p>調整された電力</p> <p>ガスタービン発電機</p> <p>コジェネ</p> <p>空調温水</p>	<p><b>熱エネルギー貯蔵システムの特徴</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>「熱エネルギー貯蔵システム」のヒーターに供給する電力は平滑化などの調整は不要で、供給された電気エネルギーは自動的に熱エネルギーに変換され、蓄熱器に熱エネルギーとしてトッピングすることができる。</li> <li>蓄熱器は層間が断熱された多層構造で、加熱用の電気ヒーターを中心層に設置することにより断熱性能が向上させることができる。</li> <li>高温で良質の熱エネルギーを大量に貯蔵できるため、電力の平滑化と同時にエネルギーの蓄積が可能で、発電機の回転速度を制御することにより、完全に制御されて電力となる。</li> <li>タービン発電機から放出される比較的の高温の排熱は熱交換器で回収してコジェネレーションシステムとして、空調(冷暖房)、温水供給設備等に利用することができる。</li> </ul>
<p><b>蓄熱器の構造と機能</b></p> <p>蓄熱器はエネルギーの蓄積、質の良くない電力の改善、商用電力の遮断時には予備電源として威力を発揮する。</p> <p>多層構造の鉄の蓄熱体</p> <p>断熱層</p> <p>地下トンネル</p> <p>電気ヒーター</p> <p>頑丈な岩盤の床</p> <p>高温ガス出口</p> <p>低温ガス入口</p>	<p><b>タービン発電機の排熱や余剰電力の利用</b></p> <p>電力の地産地消</p> <p>風力、太陽光発電等による不安定な電力を改質することでより、再生可能なエネルギーを電力として安定して供給することが可能となる。すなわち生産した電力を遠距離の送電線により遠く離れた工業地帯へ送るのではなく、地場産業のエネルギー源として活用することが可能となる。</p> <p>小型のタービン発電機を利用すれば、余剰電力を利用した補助電源としてビルなどに設置することも可能。(燃料の供給が不要)</p> <p>注) ヘリウム圧縮機の冷却に使用した排熱も地域の農業や養殖の熱資源として利用することができる。</p> <p>比較的高温の排熱は研究施設の冷水、温水の製造や空調装置に再利用すると同時に地域暖房や農業等の熱源として利用する。</p>
<p><b>まとめ</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>再生可能なエネルギーの風力、太陽光発電等による不安定な電力を熱エネルギーとして貯蔵し、再発電することにより安定な電力として利用できる。</li> <li>このグリーン電力は山岳トンネル内に建設が予定されているILC加速器用の電力として利用できる。</li> <li>この発電システムをILC加速器に採用し、魁として実証することにより、この再生可能なエネルギー発電システムが将来、重要な社会インフラに発展することが期待できる。</li> <li>この熱貯蔵による発電システムを完成させるためには、要素技術の開発研究が必要となる。特に、システム全体の効率の向上が重要であると考えられる。</li> </ul>	

# Power-line storage system and Green-ILC

## (Hajime Sakuma, NEC)

<p>System用蓄電システムと グリーンILC</p> <p>2014年12月10日 NEC スマートエネルギービジネスユニット</p>	<p>目次</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 電池事業の歴史</li> <li>■ NEC Energy Solutionsの紹介</li> <li>■ グリーンILCへの貢献</li> </ul>									
<p><b>History of Lithium-Ion Battery</b></p> <p>Demand technology development: 1996 (Manganese series lithium-ion rechargeable battery (World first)) 2002 (Laminated lithium-ion rechargeable battery)</p> <p>High Output, Large Capacity</p> <p>Batteries lines and primary products: Batteries for Equipments, Laminated Cells, Battery Module for EV.</p> <p>For mobile equipment: For mobile phone, For mobile audio player.</p> <p>For automobile and motorcycle: For electric assist bicycle, For EV/Hybrid vehicles.</p> <p>For energy storage: Residential Storage, Green Base Station, Grid Storage.</p>	<p><b>Energy Storage Systems</b></p> <p>From small size in consumer market to middle-larger in Industrial market</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>For the supply side</th> <th>For the demand side</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Application</td> <td>Power transmission/distribution Adjust change in demand</td> <td>Communication (base station) Building/commercial facilities Peak hours reduction/Shift back-up Natural energy integration</td> </tr> <tr> <td>System size</td> <td>1 MW~ 150 MWh</td> <td>10 kWh~50 kWh 10 kWh~300 kWh 1 kWh~15 kWh</td> </tr> </tbody> </table> <p>(prototypes) Medium-to large-scale Small-scale</p> <p>2MWh (Enel), 250kWh (YSCP, TEPCO) 50 kWh (YSCP) 5.5 kWh 0.25~1.5 kWh</p>		For the supply side	For the demand side	Application	Power transmission/distribution Adjust change in demand	Communication (base station) Building/commercial facilities Peak hours reduction/Shift back-up Natural energy integration	System size	1 MW~ 150 MWh	10 kWh~50 kWh 10 kWh~300 kWh 1 kWh~15 kWh
	For the supply side	For the demand side								
Application	Power transmission/distribution Adjust change in demand	Communication (base station) Building/commercial facilities Peak hours reduction/Shift back-up Natural energy integration								
System size	1 MW~ 150 MWh	10 kWh~50 kWh 10 kWh~300 kWh 1 kWh~15 kWh								
<p><b>YSCP® Storage System Field Test</b></p> <p>■ Battery &amp; Charger Integration System (BCIS) was developed in cooperation with JX Nippon Oil &amp; Energy Corp. ■ LIB ESS based charger allows us to shorten charging time and to cut peak-power.</p> <p>50kWh Energy storage system</p> <p>ENEOS Shinkoyasu SS SS : Service Station</p>	<p><b>イタリアEnel社向け系統用蓄電システム</b></p> <p>顧客: Enel Distribuzione (Enelグループの配電会社) 設置場所: 南イタリア カラブリア州 キアラバッレ電気所 システム: 出力 2MVA、容量 2MWh (2014年2月工事・現調完了) 用途: 太陽光、風力発電大量普及による系統への影響を抑制 ● 需給バランスの調整 (予測値とのキャップ補正)、周波数制御 ● 電圧制御 ● 電力品質補正 ● 停電時の予備電力供給</p> <p>Page 5 NEC Confidential Empowered by Innovation NEC</p> <p>Page 6 NEC Confidential Empowered by Innovation NEC</p>									
<p><b>目次</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 電池事業の歴史</li> <li>■ NEC Energy Solutionsの紹介</li> <li>■ グリーンILCへの貢献</li> </ul>	<p><b>NEC Energy Solutions事業開始</b></p> <p><b>2014年5月16日、NEC Energy Solutionsが事業開始。</b></p> <p>IBA123 Energy Solutionsのアセットを活用した系統向け蓄電事業を中心とし、企業向けの蓄電事業も開始予定。</p> <p>グローバルな実証実績をもとに、日本国内需要にも応えていく。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;"> <p><b>NEWS RELEASE</b></p> <p>Empowered by Innovation NEC</p> <p>Press Release - For immediate use May 16, 2014 NEC Press Contacts (Japan)</p> <p><b>NEC establishes world-class grid energy solutions and commercial energy systems business, NEC Energy Solutions</b></p> </div>									

### NEC Energy Solutions History

The timeline highlights the following milestones:

- 2006: A123 Systems establishes Pack & Systems Group in Hopkinton, MA.
- 2007: First high power grid energy storage HR Rack.
- 2008: First multi-megawatt grid energy storage system completed, called GSS™.
- 2009: First containerized HR GSS™ installation completed.
- 2010: First LD GSS™ installation completed.
- 2011: NEC acquires A123 Energy Solutions with the formation of NEC Energy Solutions.
- 2012: NEC acquires AEROS™ Energy Storage Systems, adding their technology base to NEC Energy Solutions.
- 2013: Surpassed 100MW installed capacity.
- 2014: First building-based LD GSS™ delivered to a major utility hardware OEM.
- First high power submitted using A123's 100kWh cell.
- A123 announces extension of Energy Solutions Group (ESG).
- New ESG headquarters established in Westborough, MA.
- First high energy rack storage HR Rack.
- First building-based HR GSS™ completed.

Page 9 02014 NEC Energy Solutions, Inc. All rights reserved. Proprietary and confidential.

### About NEC Energy Solutions

Advanced Energy Storage	
Electric Grid	Commercial
<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Increase grid reliability</li> <li>&gt; Enable Wind and Solar</li> <li>&gt; Increase plant efficiency/utilization</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Improve performance</li> <li>&gt; Lighter weight</li> <li>&gt; Lower total cost of ownership over lead acid</li> </ul>

Page 10 Empowered by Innovation NEC

### NEC Energy Solutions Locations

■ Westborough, Massachusetts: Headquarters
 

- Includes Engineering and Test, Program Management, Sales and Marketing, Product Service/Support, Manufacturing Operations, and Administration

■ St. Louis, Missouri: Software Development

■ Suzhou, China: Supply Chain

■ Tokyo, Japan and Rome, Italy: Sales Offices with future engineering support and installation services

Page 11 Empowered by Innovation NEC

### Modular Building Block Architecture

Validated modules for economies of scale and rapid deployment

12 Empowered by Innovation NEC

### GSS™

#### An Integrated System

■ The GSS™ is a fully integrated, turnkey energy storage plant ready to interconnect to the grid

■ Designed and manufactured by NEC Energy Solutions, and includes

- Rack-integrated energy storage with BMS and controls hardware
- Enclosures (standard containerized, but custom enclosures possible)
- Power conversion hardware (Inverters)
- Command and control software suite
- Configured to order from factory assembled & tested standard modular components

13 Empowered by Innovation NEC

### GSS™

#### Three major functional components

14 Empowered by Innovation NEC

### Flexible Product Architecture

Flexibility in Power:

Choose PCS Size

Flexibility in Energy:

Select Number of Racks

- or -

HR Rack LD Rack

Scalability:

Add Grid Battery Systems

15 Empowered by Innovation NEC

### Containerized: LD GBS™

#### Standard containerized battery packages

■ Based on NEC's flexible modular rack-integrated system

- Accommodates a range of racks for many possible power and energy levels
- Using A123 Systems Nanophosphate® lithium ion cells
- Includes all control hardware

16 Standard Long Duration (LD) GBS™:

GBS-C33-LD40*	GBS-C40-LD28*	GBS-C20-LD12*
Power rating Up to 4.0 MW	Power rating Up to 2.8 MW	Power rating Up to 1.2 MW
Energy rating Up to 4.0 MWh	Energy rating Up to 2.8 MWh	Energy rating Up to 1.2 MWh
Container size 53' x 8.5' x 9.5'	Container size 40' x 8.5' x 9.5'	Container size 20' x 8.5' x 9.5'
16.2m x 2.6m x 2.9m	12.2m x 2.6m x 2.9m	6.1m x 2.6m x 2.9m
Rack qty 40 LD Racks*	Rack qty 28 LD Racks*	Rack qty 12 LD Racks*

\*Containerized systems shown fully populated w/racks. Partially populated systems available.

16 Empowered by Innovation NEC

**Containerized: HR GBS™**

**Standard containerized battery packages**

- Based on NEC's flexible modular rack-integrated system
- Includes all control hardware
- Based on A123 Systems Nanophosphate® lithium ion
- Standard High Rate (HR) GBS:

\*Containerized systems shown populated w/ 18 racks. Other rack quantities available. Capacity directly correlates with rack content. Power capability may be limited below 16 racks.

Page 17 ©2014 NEC Energy Solutions, Inc. All rights reserved. Proprietary and confidential. Empowered by Innovation. NEC

**Utility-scale grid energy storage CASE STUDY**

Page 18 ©2014 NEC Energy Solutions, Inc. All rights reserved. Proprietary and confidential. Empowered by Innovation. NEC

**系統用蓄電システムの主要サービス・アプリケーション（米国の例）**

サービス・アプリケーション名	概要
Bulk Energy Services	消費ピーク時の電力を、余剰時に蓄えた電力で補う。再エネが発電した余剰電力を蓄えて、需要増大時に利用。
Peak shaving / Time shifting	電力卸市場にて有利な調達戦略を行うための貯蔵力、容量市場で運用。
Electric supply capacity	電力卸市場にて有利な調達戦略を行うための貯蔵力、容量市場で運用。
Ancillary Services	
Primary reserve/Spinning reserve	既存発電所の1次調整予備力(通常3-5%)を代替し、発電量と発電効率の最大化を図る。
Frequency & voltage regulation	系統用汎数・電圧変動の分担位補正。既設発電所に設置される場合はPrimary reserveを包含。調査市場で適用。
Renewable ramp management	風力、太陽光発電の出力変動率を指定の範囲内に抑制する。
Black start	停電等による電源喪失時に変電所配下のターゲット負荷に対して電力を供給する。
Transmission & Distribution Support	送配電網の設備増強を延期するためのリソース支援
T&D deferral	

Page 19 NEC Confidential Empowered by Innovation. NEC

**NEC Energy Solutions GSS™ Deployments Around the World**

**Over 110MW DEPLOYED**

Page 20 NEC Confidential Empowered by Innovation. NEC

**20MW/5MWh GSS™**

**Angamos (Chile)**

The International Recipient of the 85th Annual EEI Edison Award

Primary Reserve  
20MW Power Capability  
5 MWh Energy Capacity  
10 Battery Containers  
5 Inverter Containers with Integrated Transformers  
External Chillers  
Operational since 2011

Page 21 ©2014 NEC Energy Solutions, Inc. All rights reserved. Proprietary and confidential. Empowered by Innovation. NEC

**32MW/8MWh GSS™**

**Laurel Mountain, WV**

Recipient of the 2012 Excellence in Renewable Energy Award for Wind Project of the Year

Frequency Regulation  
32 MW Power Capability  
8 MWh Energy Capacity  
16 Battery Containers  
8 Inverter Containers  
External Chillers and Transformers  
Operational since 2011

Page 22 ©2014 NEC Energy Solutions, Inc. All rights reserved. Proprietary and confidential. Empowered by Innovation. NEC

**Auwhi project**

21MW wind farm located in Hawaii on the island of Maui

Interconnection requires wind farm output to be steady

Change in wind farm output must be less than 1MW/minute

Page 23 ©2014 NEC Energy Solutions, Inc. All rights reserved. Proprietary and confidential. Empowered by Innovation. NEC

**11MW/4.4MWh GSS™**

**Maui, HI**

Wind Ramp Management  
11 MW Power Capability  
4.4 MWh Energy Capacity  
9 Battery Containers  
3 Inverter Containers  
External Chillers and Transformers  
Operational since December 2012

Page 24 ©2014 NEC Energy Solutions, Inc. All rights reserved. Proprietary and confidential. Empowered by Innovation. NEC

<p><b>Wind Ramp Management Operation</b></p> <p>Autonomous response to wind farm output</p> <p>Wind farm output ramps up and down rapidly; battery effectively softens power ramp</p> <p>PDI Power Wind Output Battery Power</p> <p>Operational data taken January 24, 2013</p> <p>Page 25</p> <p>2014 NEC Energy Solutions, Inc. All rights reserved. Proprietary and confidential.</p> <p>Empowered by Innovation <b>NEC</b></p>	<p><b>目次</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>電池事業の歴史</li> <li>NEC Energy Solutionsの紹介</li> <li>グリーンILCへの貢献</li> </ul> <p>Page 26</p> <p>NEC Confidential</p> <p>Empowered by Innovation <b>NEC</b></p>
<p><b>Wind Farmと蓄電システムによる電力安定化</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>系統に頼らずWind Farmから蓄電システムを介して直接供給</li> <li>系統から蓄電システムを介したバックアップ供給</li> <li>Wind Farm・系統双方に対する電圧・周波数変動を統合制御</li> </ul> <p>Page 27</p> <p>NEC Confidential</p> <p>Empowered by Innovation <b>NEC</b></p>	<p>Empowered by Innovation</p> <p><b>NEC</b></p>

## **Introduction of high efficiency co-generation system using Gas-Engine (Ryusuke Osaki, MHI)**

2013.12.16

三菱重工業株式会社  
販売・事業本部  
エンジニアリング部

© 2013 MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD. All Rights Reserved.

三菱重工業

## 三菱重工の製品

© 2013 MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD. All Rights Reserved.

3

© 2013 MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD. All Rights Reserved.

13

© 2013 MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD. All Rights Reserved.

15

**コジェネレーションシステムに使用される機器**

© 2013 MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD. All Rights Reserved.

**エネルギーソリューションの紹介**

- 電力会社の系統の停電(瞬停)対策
- 電力会社からの節電要請(15%低減)対策(将来の電力確保の保証)
- エネルギーコスト(電気代・燃料代など)セーブ
- 排熱の有効利用
- 既存の自家発電設備を最新鋭機に更新
- 全世界のCO<sub>2</sub>削減への寄与

© 2013 MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD. All Rights Reserved.

**電力会社の系統の停電(瞬停)対策**

電源セキュリティの向上

① フラックワットスタートシステム(停電状態からの起動・給電システム)  
電力会社が停電時にコジェネレーション設備を単独起動し工場へ給電を再開。  
→長時間に亘る工場内停電を避けることができます。

② 連携停電システム  
電力会社系統停電時或いは瞬停時に系統から高速解列。  
⇒停電発生時に重要負荷への給電を継続することが可能。  
⇒瞬停時の電圧低下の影響を抑制することができます。

© 2013 MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD. All Rights Reserved.

**電力会社からの節電要請(15%低減)対策**

電力会社からの節電要請による操業低下を解決します。

実運用例 (夏季ピークカット)  
(自家発電50%出力 2,750 kW  
(契約電力上限42,000 kW  
(契約電力下限18,000 kW)

© 2013 MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD. All Rights Reserved.

**エネルギーコスト(電気代・燃料代など)セーブ**

排熱の有効利用によりガスエネルギーを最大限に活用でき、コストセーブに寄与します。

KU30GSガスエンジンの一例を示します。

型式	18KU30GS	最高出力	320 (200 <sup>1)</sup> )	
NOx排出濃度	ppm	1,045	0.07%燃費率	
燃料ガス消費量 <sup>2)</sup>	m <sup>3</sup> /Nm <sup>3</sup>	1,600		
LPV <sup>3)</sup>	kWh/kWh	0.90	0.90	
実績出力	kW	5,750	5,500	
高溫水	kWh	2,980	2,390	0.70 MPaG, 鮎和蒸気, 鮎水温度60°C
低温水	m <sup>3</sup> /h	300	293	83~88°C
循環水	m <sup>3</sup> /h	16.2	15.5	20~40°C

注1) 18KU30GSの出力は、ISO3046条件によるもので、実際の出力とは異なる場合があります。  
2) パンフレット出荷価格によるもので、実際の出荷価格とは異なる場合があります。  
3) 入出力電流を測定するためのLPV値です。

© 2013 MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD. All Rights Reserved.

**排熱の有効利用**

排熱有効利用の可能性は多岐に渡ります。

**蒸気**

- ORCタービン (ガスエンジンコンバインド発電)
- 蒸気タービン (ガスエンジンコンバインド発電)
- 高気温吸収式冷凍機 (冷水)
- アンモニア吸収式冷凍機 (冷水)
- アモニア空調機 (低温空調)
- 減容装置・乾燥機 (汎用乾燥機等)
- 蒸気コンプレッサ (汎用空調)
- 蒸気ヒートリサイクル (暖房、重油ヒーティング等)
- ガゼンセキ (洗浄、殺菌等)

**排ガス**

- ORCタービン (ガスエンジンコンバインド発電)
- 排ガスボイラー (熱供給)
- 排ガス吸収式冷凍機 (冷水)
- アルカリ排水処理装置 (アルカリ性廃液中和)
- アモニア空調機 (低温空調)
- 減容装置・乾燥機 (汎用乾燥機等)
- 蒸気コンプレッサ (汎用空調)
- 蒸気ヒートリサイクル (暖房、重油ヒーティング等)
- ガゼンセキ (洗浄、殺菌等)

**温水**

- 温水吸収式冷凍機 (冷水)
- アモニア空調機 (熱供給)
- 減容装置・乾燥機 (汎用乾燥機等)
- 温水ヒーティング (暖房)
- プロセス温水 (洗浄、殺菌等)

© 2013 MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD. All Rights Reserved.

**既存の自家発電設備を最新鋭機に更新**

老朽化した既設GTをガスエンジンへ更新される例が多く見られます。

ガスエンジン : 電気需要の多いお客様  
ガスタービン : 熱需要の多いお客様

という選択が一般的でしたが、最近は構内の熱電比を電気側へシフトする傾向が見られます。

**ガスエンジンとガスタービンの発電効率比較**

© 2013 MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD. All Rights Reserved.

**全世界のCO<sub>2</sub>削減への寄与**

**CO<sub>2</sub>削減量の試算例**

算定条件 (日本は400h地区の値を示す。)		目標	達成
ガスエンジン導入台数	台	MACH 18KU30GSi	
ガスエンジン型式	%	48.8	ISO3046条件、裕度+5%
実績出力	kW	5,750 (5,500)	
耗熱額定	kW	1,815 (1,673)	0.78MPaG、飽和
高溫水回収	kW	1,763 (1,686)	60°C
低温水回収	kW	753 (720)	
総熱回収合計	kW	4,330 (4,079)	
回収率	%	85	
計算達成時間	時間	8,000	連続運転

従来システム  
15,272 ton/年  
(14,608 ton/年)  
(火災発電から貢献)  
8,643 ton/年  
(8,142 ton/年)  
(都市ガスによるコジェネ)

ガスコージェネレーション  
16,891 ton/年  
(16,157 ton/年)  
(都市ガスによるコジェネ)

= 7,023 ton/年削減  
(6,593 ton/年)

KU30GSガスエンジンの一例を示します。

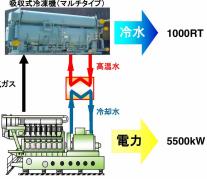
© 2013 MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD. All Rights Reserved.

**◆納入事例**

①アメリカ Central Florida大学 【冷・電】



三菱18KU30GSガス発電機  
<5500kW×1台>  
吸収式冷凍機  
<1000RT>



発電設備建屋

© 2013 MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD. All Rights Reserved.

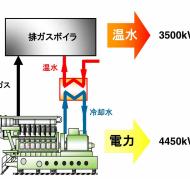
37

**◆納入事例**

②フランス Valenciennes地区病院 【熱・電】



三菱14KU30GAガス発電機  
<4450kW×1台>  
温水ボイラー



排ガスボイラ  
温水  
冷却水  
電力

© 2013 MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD. All Rights Reserved.

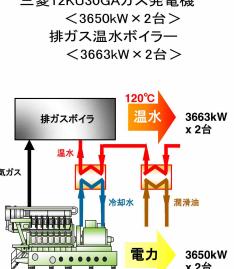
38

**◆納入事例**

③韓国 マンション 【熱・電】



三菱12KU30GAガス発電機  
<3650kW×2台>  
排ガス温水ボイラー  
<3663kW×2台>



排ガスボイラ  
温水  
冷却水  
電力

© 2013 MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD. All Rights Reserved.

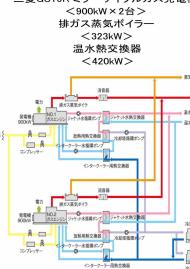
39

**◆納入事例**

④日本 複合商業施設 【熱(蒸・冷)・電】



三菱GS16R ミラーサイクルガス発電機  
<900kW×2台>  
排ガス蒸気ボイラー  
<323kW>  
温水熱交換器  
<420kW>



排ガスボイラ  
温水  
冷却水  
電力

© 2013 MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD. All Rights Reserved.

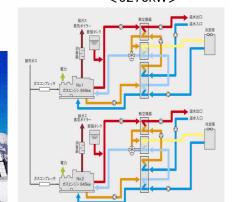
40

**◆納入事例**

⑤日本 ビール工場 【熱(蒸)・電】



三菱18KU30GAガス発電機  
<5750kW×3台>  
排ガス蒸気ボイラー  
<6270kW>



© 2013 MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD. All Rights Reserved.

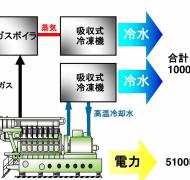
41

**◆納入事例**

⑥タイ 紡績工場 【熱(蒸・冷)・電】



三菱16KU30GAガス発電機  
<5100kW×1台>  
排ガス蒸気ボイラー  
吸収式冷凍機  
<合計1000RT>



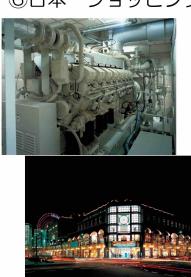
排ガスボイラ  
吸収式冷凍機  
合計  
1000RT  
排ガス  
冷卻水  
高温冷却水  
電力

© 2013 MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD. All Rights Reserved.

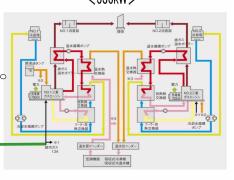
42

**◆納入事例**

⑦日本 ショッピングセンター 【熱・電】



三菱GS16R ミラーサイクルガス発電機  
<780kW×2台>  
排ガス温水ボイラー  
<536kW>

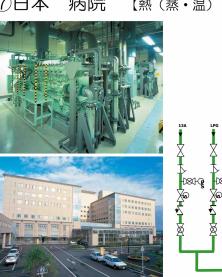


© 2013 MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD. All Rights Reserved.

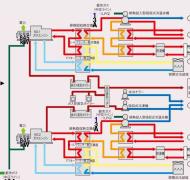
43

**◆納入事例**

⑦日本 病院 【熱(蒸・温)・電】



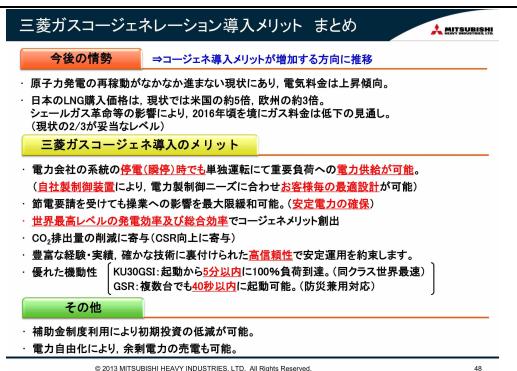
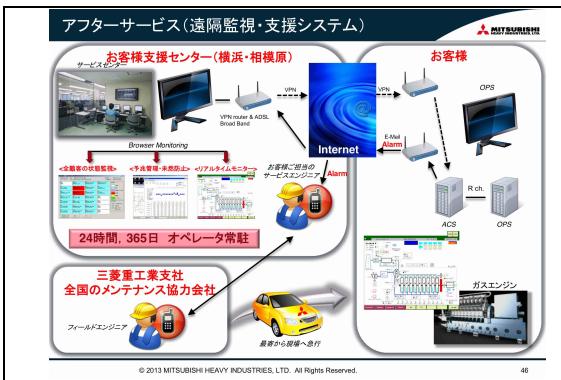
三菱GS16R ミラーサイクルガス発電機  
<845kW×2台>  
排ガス蒸気ボイラー  
<472kW>  
温水熱交換器  
<487kW>



排ガスボイラ  
吸収式冷凍機  
合計  
1000RT  
排ガス  
冷卻水  
高温冷却水  
電力

© 2013 MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD. All Rights Reserved.

44



# Energy Management System

## (Manabu Miyamoto, MHI)

<p>1</p> <p>「一般社団法人先端加速器科学技術推進協議会 技術部会 クリーンILC-WG 演説資料」</p> <p><b>エネルギー・マネジメントシステム —電熱需要への設備最適化—</b></p> <p>2015年 2月 18日 三菱重工業株式会社 ICTソリューション本部 製品ソリューションセンター</p>	<p>2</p> <p><b>エネルギー・マネジメントのためのプラットフォーム</b></p> <p>大型工場や地域に必要となるエネルギー機器について、トータルエネルギー・ソリューションを提案、設備の計画・運用最適化を実施</p> <p>© 2015 MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD. All Rights Reserved.</p>
<p>3</p> <p><b>トータルエネルギー・ソリューション</b></p> <p>通常時には省エネに優れ、非常時にも事業継続をサポートするソリューションをご提供</p> <p>130周年 三菱重工</p>	<p>4</p> <p><b>計画提案システムの構成</b></p> <p>多様な発電設備・熱源設備を組合せ、最適な設備仕様・運転方法提案が可能</p> <p>データベース 機器モデルライブラリ 計算エンジン 最適化機能 シミュレーション結果集計機能 モニタリング法や群衆最適化などのOR手法を活用</p> <p>© 2015 MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD. All Rights Reserved.</p>
<p>5</p> <p><b>適応事例(ガスエンジンジョージエネレーションの導入検討)</b></p> <p>ガスエンジンの新規導入効果を試算。評価間数をコスト(インシャル+ランニング)とし、ガスエンジン・ターボ冷凍機・吸収冷凍機・ボイラの最適な運転方法を検討</p> <p>© 2015 MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD. All Rights Reserved.</p>	<p>6</p> <p><b>適応事例結果(各設備の電熱需要最適化)</b></p> <p>電熱需要および電気・燃料料金に対して、ランニングコストを評価間数として最適化した結果</p> <p>ガスエンジン 冷凍機 ボイラ</p> <p>© 2015 MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD. All Rights Reserved.</p>
<p>7</p> <p><b>適応事例結果(ランニングコスト・設備投資回収年)</b></p> <p>ガスエンジン導入による年間のランニングコスト、初期設備投資、ランニングコストを考慮した投資回収年の結果</p> <p>年間コスト 投資回収 契約電力</p> <p>© 2015 MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD. All Rights Reserved.</p>	<p>8</p> <p><b>適応事例結果(最適設備運用による年間エネルギーコスト)</b></p> <p>ガスエンジンの稼働による受電量変動、契約電力量・電力料金体系について検討した結果</p> <p>年間コスト 契約電力 ※ 蒸気 ■ 油 ■ 石油ガス ■ 電気 ■ 送電料金 ■ 契約料金 ■ 送電料金 ■ 契約料金</p> <p>© 2015 MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD. All Rights Reserved.</p>

