

未来を切り開く最先端フォトンクス研究

レーザー点火プラグ

- ジャイアントマイクロフォトンクスへの誘い -

平等拓範

taira@ims.ac.jp

自然科学研究機構 分子科学研究所

謝辞

曾根明弘, 酒井博 (浜ホト)

常包正樹, Nicolaie PAVEL (分子研)

森島信悟, 金原賢治, 猪原孝之, 安藤彰浩, 木戸直樹 (部品総研)

藤川武敏, 蝦名正輝, 秋濱一弘 (豊田中研)

田口信幸, 杉浦明光 (デンソー)

赤松研究室 (大阪大学), 古谷研究室 (産総研)

(独) 科学技術振興機構

(財) 科学技術交流財団

発表の内容

- はじめに
- 電気火花点化
- レーザー点火の原理
- レーザー点火の過程とパルスギャップ
- レーザー点火を取り巻く状況
- まとめ

レーザー学会学術講演会第33回年次大会

2013年1月28日 10:30-14:30, 姫路商工会議所 (〒670-0932 兵庫県姫路市下寺町43)

S. 次世代エンジンのためのレーザー点火 (燃焼学会共催) 28a1

主査 平等拓範 (分子科学研究所)

1. オープニングリマークス I - レーザーの立場から -
鷲尾邦彦 ((有)パラダイムレーザーリサーチ)
2. オープニングリマークス II - エンジン点火の歴史とレーザー点火 -
村瀬英一 (九州大学大学院 工学研究院)
3. レーザーによる点火・着火技術
古谷博秀, 高橋栄一 ((独)産業技術総合研究所)
4. レーザー点火によるエンジン性能向上の可能性
赤松史光, 林 潤 (大阪大学大学院 工学研究科)
5. レーザー点火による次世代エンジンの可能性
森島信悟, 金原賢治, 常包正樹, 平等拓範, 田口信幸, 杉浦明光 (自動車部品総研, 分子研, デンソー)



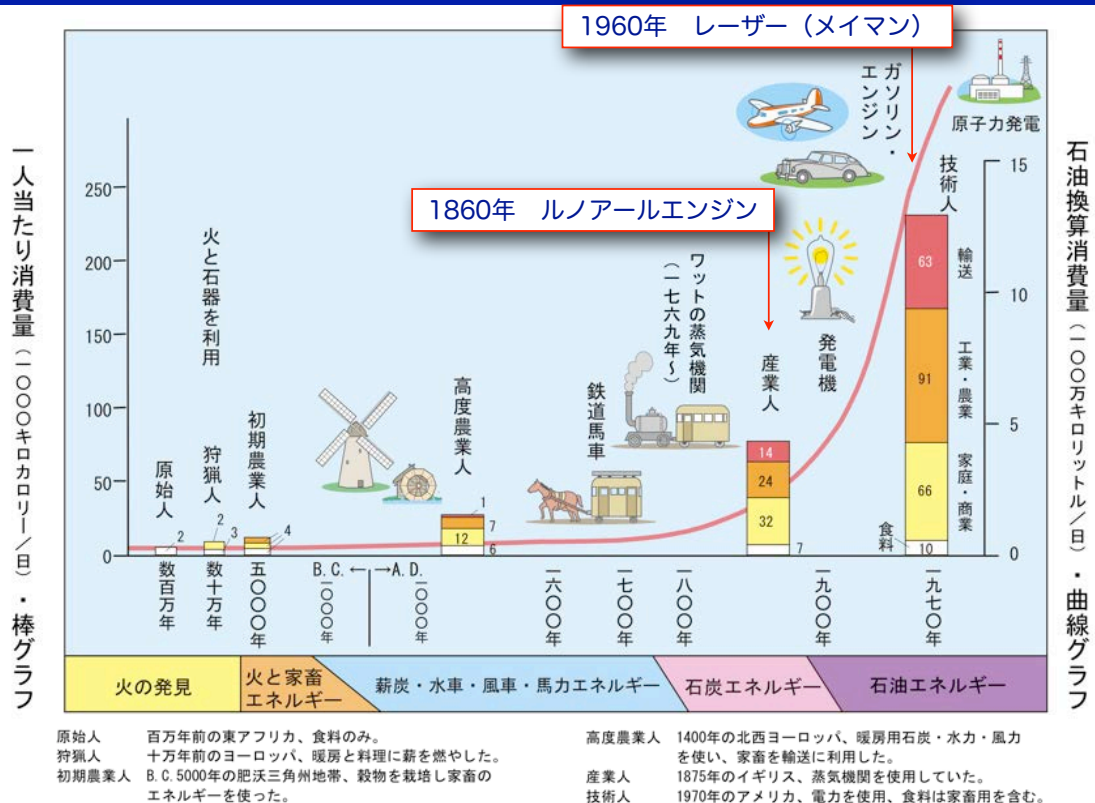
世界で始めてレーザー点火エンジン搭載に成功

7. クロージングリマークス - レーザー点火の展望 -
平等拓範 (自然科学研究機構 分子科学研究所)

電気火花点化

人類とエネルギーのかかわり

出典：総合研究開発機構「エネルギーを考える」



熱機関

熱を仕事に変える機械

オットーサイクル

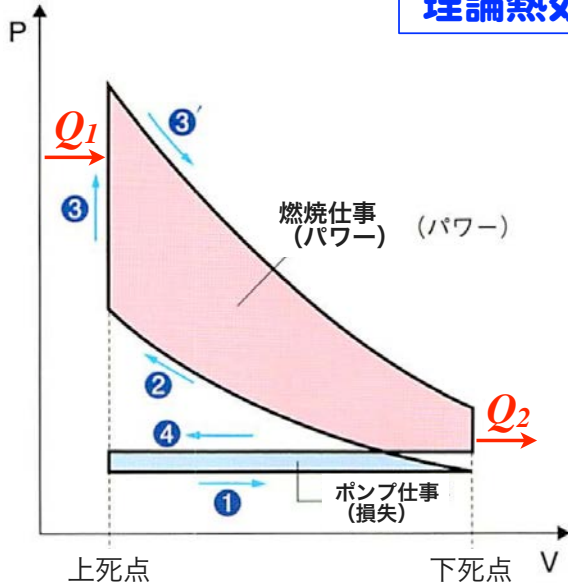
可燃性の混合気をシリンダに吸入・圧縮し点火して燃焼させる過程で仕事をさせる

理論熱効率

$$\eta_{th} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{1}{\epsilon^{\kappa-1}}$$

ϵ : 圧縮比

κ : 比熱比



💡 高効率化 : ϵ , κ 大きくする

- 高圧縮燃焼 : 熱効率の向上 → ϵ 大
- 希薄燃焼 : 低温燃焼 → κ 大
: 比熱の影響低下 → 高効率化
: 熱解離の影響低下 → NOx低排出化
- 大量EGR : 低燃費化, NOx低排出化

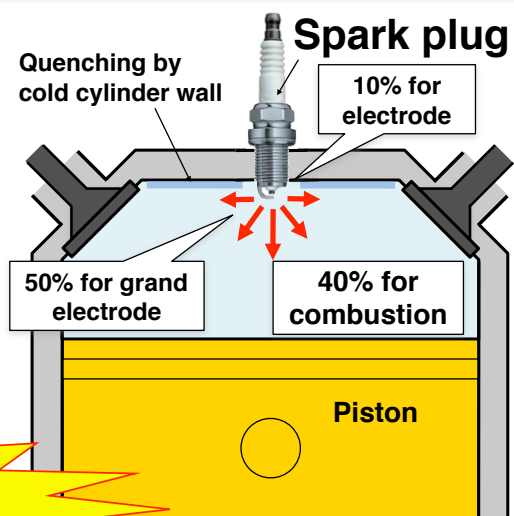
次世代エンジンは
点火が困難 !

電気火花点化

💡 次世代エンジン (希薄燃焼, 高圧縮, 大量EGR, バイオ燃料) には強力点火が必要

電気火花点化の問題

- 点火位置の限定 : プラグ近傍
- 点火源温度が低い : $\sim 2,000^\circ\text{C}$
- 電極が必要 : 火炎冷却, 消耗
- 高雰囲気気圧での点火 : 高電圧必要



(a) Spark plug

着火性の良い燃料を空気と混合して, 電気エネルギーを利用して着火させる。

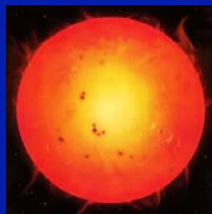
点火が困難 !

レーザー点火

レーザー光の特徴

● 自然光

- ▶ 方向，位相，波長がバラバラ
- ▶ 太陽光，月明かり，たき火，懐中電灯，蛍光灯など



● レーザー



エネルギーを集中できる

- ▶ 方向，位相，波長が揃っている
- ▶ 指向性，単色性に優れ可干渉（コヒーレンス）性が高い
- ▶ 光強度（エネルギー密度）が高い，すなわち高輝度光，高輝度温度光である

レーザー点火の歴史

Nature 4951, 1217 (1964).

A RADIATIVE DETONATION MODEL FOR THE DEVELOPMENT OF A LASER-INDUCED SPARK IN AIR

By S. A. RAMSDEN and P. SAVIC

National Research Council of Canada, Ottawa

IN the course of recent work¹ on the spark produced in air by a focused ruby laser beam, the rather surprising result was obtained that, after breakdown, the spark developed asymmetrically, moving towards the lens with an initial velocity of $\sim 10^7$ cm/sec. In this article this effect is discussed in terms of a new mechanism—that of a radiation-supported shock wave. It is assumed that after breakdown a shock wave propagates into the un-

disturbed gas, and that further absorption of energy from the laser beam then occurs behind the shock front travelling towards the lens, in the manner of a detonation wave. After the end of the laser pulse the heated gas then expands in the form of a blast wave.

The spark is produced at the focus of an 8-mm focal-length lens by a Q-spoiled ruby laser of output power 5-10 MW. and time-duration 20 nsec. Breakdown occurs

- Q-spoiled ruby laser
 - Energy : 200 mJ
 - Pulse width : 20 ns
 - Peak power : 5-10 MW
 - Focusing lens : 8 mm

- Breakdown: Plasma / Shock wave
 - electron density and temp.
 - : $n_e = 10^{20} \text{ cm}^{-3}$, $T_e = 4 \text{ eV}$ ($\sim 48,000 \text{ K}$)
- Radiation supported detonation wave
 - Taylor's blast wave theory

---> Laser Ignition

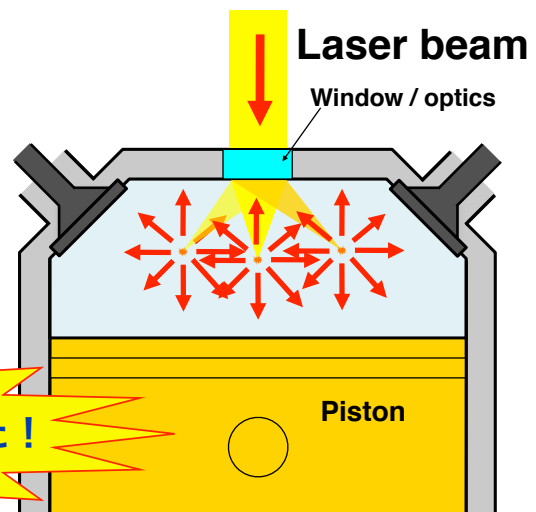
レーザー点火

次世代エンジン (希薄燃焼, 高圧縮, 大量EGR, バイオ燃料) には強力点火が必要

レーザー点火の意義・優位性

- 点火位置 : 任意 (最適位置)
 - : 同時多点点火も容易
- 点火源温度 : 数万°C
- 電極が不要 : 少ない損失
 - : 火炎核の成長が早い
- 高雰囲気圧での点火 : 容易

点火に適したレーザーが無かった！



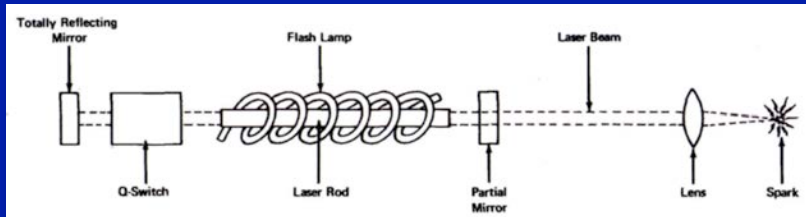
(b) Laser based multi-point breakdown

レーザー点火の歴史

SAE 740114, 555 (1974).

Combustion Bomb Tests of Laser Ignition

Robert Hickling and William R. Smith
Research Laboratories, General Motors Corp.



COMBUSTION BOMB TESTS OF LASER

561

light significantly. If leaded fuels had been used, the problem with deposits would have been much more serious.

DISCUSSION

The combustion bomb studies reported here have established some information about laser ignition, namely, that the laser spark will readily ignite a range of fuels, that the laser spark will ignite lean mixtures, and that laser-induced combustion has some of the features that are to be expected from combustion initiated at the center of the chamber, for example, a more rapid flame speed and the occurrence of knock.

The efficiency of the neodymium laser system used in the experiments reported here is low, probably about 0.5%. In contrast, the efficiency of the spark plug is about 80%. Assuming that 0.5 J/pulse is consumed for ignition, a laser ignition system for a 6-cyl engine, for example, running at 2400 rpm uses about 60 W of pulsed laser power. Generating this

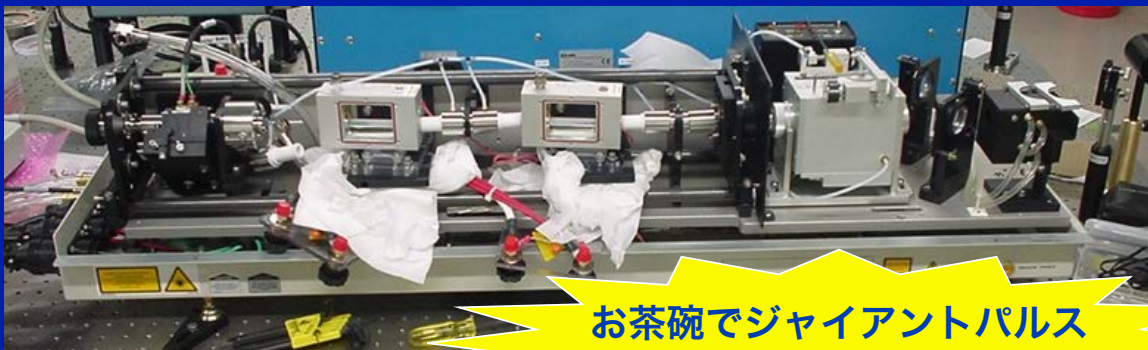
power with a system of 0.5% efficiency would require 12,000 W or about 16 hp. Such a power consumption is clearly unacceptable. However, there are ways in which this might be reduced. Laser systems now exist with a narrower beam divergence. Also, a more efficient laser used in the experiments reported here.

In the spark plug tests reported here, 1.25 mm were used. Wide gaps have been used for the ignition of lean mixtures, and the results obtained here for the laser spark also is a significant leaner mixtures. The duration of the laser spark is of a magnitude smaller than the duration of the spark plug and, from some points of view, its potential for ignition because of its narrowness. On the other hand, the more it is likely to cause a more rapid rate of deposition.

● Q-sw. Nd:YAG laser

- Energy : 500 mJ
- Pulse width : 20 ns
- Peak power : 25 MW
- Efficiency : < 0.5 %
- Temp : ~ 150 °C

ジャイアントパルスレーザーの問題点



従来レーザーの欠点：

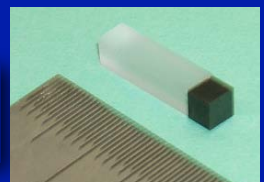
- 大型（共振器長 ~1m）
- 不安定（振動，温度変化）
- 高電圧，大電流（数10kV, kA）

お茶碗でジャイアントパルスレーザー

マイクロレーザーの特長：

- 小型（共振器長 ~数mm）
- 高安定（振動，温度変化）
- バッテリー駆動

🔬 マイクロ固体フォトリソによる高性能レーザー



レーザー点火の過程とパルスギャップ

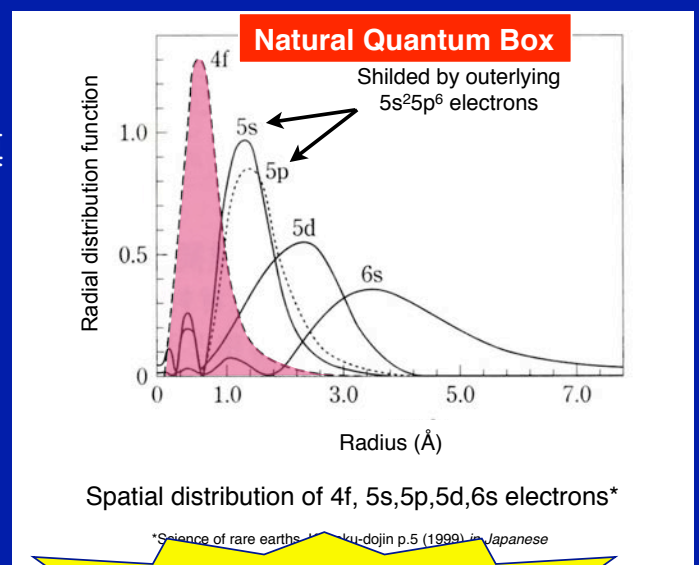
希土類イオンによるレーザー

- 4f電子（内核）が不完全充填
- 外殻電子（ $5s^2 5p^6$ ）は完全充填

希土類（ RE^{3+} ）添加レーザー

4fⁿ : 禁制遷移

- 発光吸収スペクトルが鋭い
- 準安定励起状態の寿命が長い
- 発光量子効率が高い
- 結晶場の影響を受けにくい



固体レーザーの特長

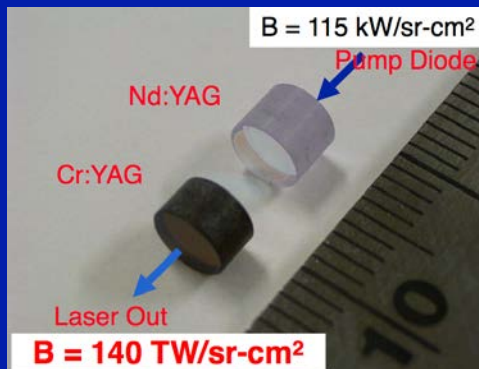
パルスギャップ！

- Qスイッチによるジャイアントパルス発生：> MW 尖頭値（ns パルス幅）
- モードロックによる超短パルス発生：ps - fs パルス幅

ジャイアントパルスマイクロチップレーザー

B = 115
kW/sr-cm²

B = 140
TW/sr-cm²



Pulse duration

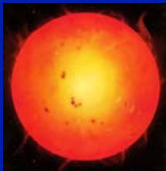
$$\tau_p \approx \frac{r\eta(r)}{r-1-\ln r} \tau_c$$

r : inversion ratio to threshold
η(r) : extraction efficiency
τ_c : cavity lifetime

- エネルギー : 0.96 mJ
- パルス幅 : 480 ps
- 尖頭値 : 1.7 MW
- 横モード特性 : M² = 1.05
- スペクトル線幅 : < 5.1 pm
- パームトップサイズ
- 消費電力 : < 20 mW/pulse

H. Sakai, H. Kan, T. Taira, Opt. Express, 16(24), 19891 (2008)

マイクロチップレーザーの輝度温度 : T_B = ~2 x 10²⁰ K

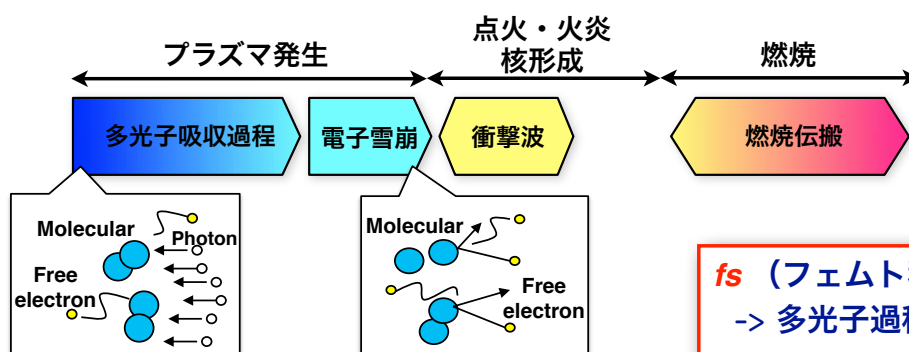


太陽の表面温度 : T_B = 6,000 K

太陽に比べても 10¹⁶ 高い

レーザーによる点火のメカニズム

レーザー点火過程



fs (フェムト秒)

-> 多光子過程

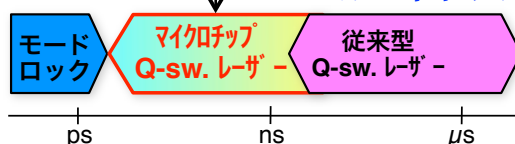
ns (ナノ秒)

-> 電子雪崩過程

レーザーパルス幅

・放電破壊に必要な光強度 ~10¹² to 10¹³ W/cm² (数-ns パルス幅) とされていた。

「パルスギャップ」領域



時間

マイクロチップレーザーによる点火

静止場評価システム

：容器内の火炎核成長を高速で観察可能

火炎核のシュリーレン観測（当量比1）

slow motion : x1000



35mJ



11mJ

- 定容容器実験（流れ無し）
- 空燃比（ C_3H_8 ）：15.3（ストイキ）
- 大気圧・室温

1/3 のエネルギーで火炎核の直径は 3 倍

DENSO Japan

SOKEN

Lasers for engine ignition

The pollutant emissions and high-energy consumption of combustion engines using conventional spark plugs have long been serious environmental problems. Now, it has been demonstrated that lasers can provide a feasible green alternative. Duncan Graham-Rowe reports.

You might think that the idea of using a state-of-the-art laser to replace something as cheap and simple as a spark plug was over the top and an excessive use of technology. As it turns out, though, the benefits of making such a switch are so great that perhaps within the next decade we can expect laser-ignition systems to become commonplace in a wide range of combustion engines, initially in large-scale power plants then cars.

This is because there is growing evidence to suggest that using lasers to ignite fuel in combustion engines (Fig. 1) will bring about higher efficiencies and improved reliability compared with conventional spark plugs. What is more, they could also dramatically reduce the levels of harmful pollutants produced.

In light of this, it is hardly surprising that governments and big names in industry, such as Ford, Toyota and General Electric, are now showing a growing interest in laser ignition. According to Ernst Wintner, one of the pioneers in this field at the Photonic Institute of the Vienna University of Technology, in Austria, the race is now on to see who can get a laser-ignition system to market first.

But whether it is being used for automobiles or power plants, the principle is essentially the same. With sufficient intensity, of the order of 100 GW cm^{-2} , such pulses can be used to cause a plasma spark at the focal point of the laser, igniting the mixture of fuel and air, and ultimately driving a piston and crankshaft. According to Wintner, to reach the high intensity needed for laser ignition, the important thing is to get tightly focused laser pulses with pulse energies higher than 10 mJ , a beam quality factor, M^2 , of lower than 3 and pulse durations of lower than 10 ns .

The advantages of using lasers for ignition are numerous, according to Wintner. Arguably, the biggest driving force is the potential improvement in efficiency that lasers offer. In both power plants and cars, there has been a move towards using leaner fuel mixes,

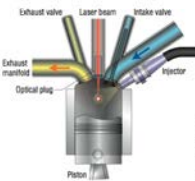


Figure 1 Schematic of laser ignition in a combustion engine.

where the ratio of air to fuel is greater than normal. This enables greater efficiencies because less fuel is burned per cycle, but has the trade-off of being more difficult to ignite using conventional spark plugs. Not so with laser ignition, as Wintner points out. "Lasers allow you to work even leaner than you could with a normal spark plug, so you can get better efficiencies," he says.

A Japan Science and Technology Agency (JST) project, which involved several companies including Toyota, Nippon Soken and Denso, recently designed a passively Q-switched Cr:YAG/Nd:YAG microlaser pumped by a 120-W fibre-coupled quasi-continuous-wave laser diode for the purpose of ignition. A maximum output energy of 4 mJ per pulse and 16 mJ per four-pulse train with a pulse width of 0.6 ns and an M^2 value of 1.2 were obtained. The optical-optical conversion was 23 per cent and the brightness of the microlaser was calculated as $0.3 \text{ PW sr}^{-1} \text{ cm}^{-2}$. A comparison between the performance of a conventional spark plug and laser ignition in a constant-volume combustion chamber showed that a laser igniter accelerates the combustion and can ignite a leaner gas mixture that has an air/fuel (C_3H_8) ratio of 17.2 in

atmospheric pressure. The ignition limit of the air/fuel ratio of a conventional spark plug was 15.7.

Combustion efficiency was also investigated for the above microlaser system. Takunori Taira from the Institute for Molecular Science, Japan, who is the leader of the JST project, and co-workers found that an input electrical power of 35 mJ is needed for a conventional spark plug, whereas 9 mJ optical energy from a microlaser is able to provide a flame kernel with a cross-sectional area three times bigger than that of the spark plug (Fig. 2). The research team is confident that 3 mJ optical energy is therefore sufficient for ignition with this system. "We attribute these improvements to the short pulse width, high beam quality and high brightness of our microlaser, which successfully reduce the air-breakdown energy and the ignition energy," says Taira.

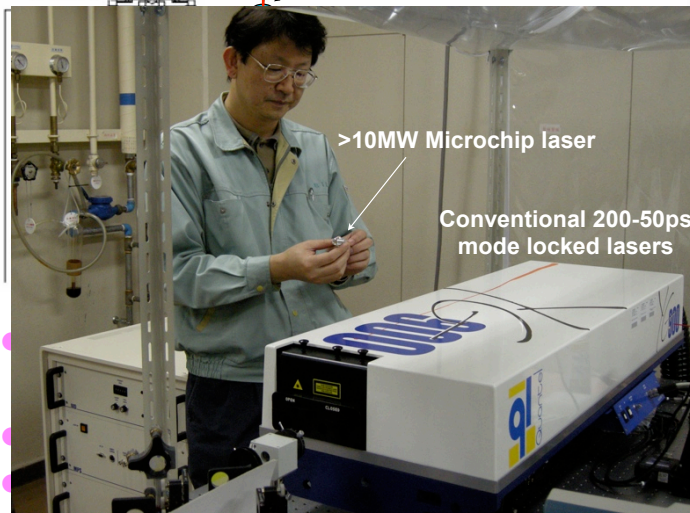
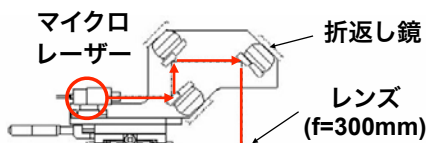
Another reason for being able to get better efficiency is the flexibility of localizing the ignition point, which comes with using a laser. For practical reasons spark plug contacts are usually positioned relatively close to the wall of the combustion chamber, as opposed to its centre. But with a lean fuel mix this is less than ideal when trying to get the most efficient burn, according to Andrew Scarisbrick, supervisor for government and university collaborations at Ford Motor Company's Dunton Research and Engineering Centre in Basildon, UK. This is particularly relevant with direct-injection engines that allow ultra-lean burns. "This is where instead of injecting petrol into an intake port you inject it directly into the cylinder," says Scarisbrick. The aim is to improve efficiency even further and reduce pollutants by surrounding a smaller amount of fuel with a layer of air, so that it is well away from the cylinder walls. The challenge here is that ideally you would want to spray the fuel near the spark plug contacts, but for practical reasons these are anchored close to the engine wall away from the centre of the chamber.

マイクロレーザーによるエンジン点火

JST地域イノベーション創出総合支援事業 育成研究（平成13～21年）

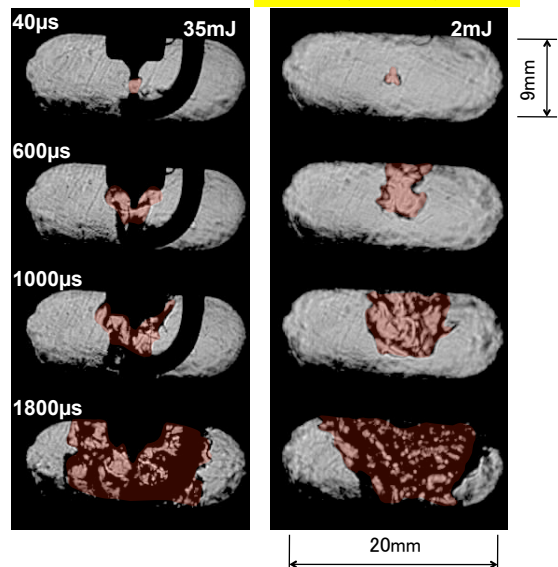
自動車エンジンへの適用実験

ジャイアントマイクロフォトンクス



スパークプラグ

マイクロレーザー



CLEO:2012

Technical Conference: 6-11 May 2012 Exposition: 8-10 May 2012
San Jose Convention Center, San Jose, CA, USA

News & Press | CLEO Blog | Frequently Asked Questions

Search

Go

About CLEO: 2012 • Conference Program • Reserve Exhibit Space

CLEO: QELS—
FUNDAMENTAL
SCIENCE

CLEO: SCIENCE
& INNOVATIONS

CLEO: APPLICATIONS
& TECHNOLOGY

SUBMIT A PAPER

REGISTRATION
& TRAVEL

EXHIBIT HALL
& ACTIVITIES

LASER SCIENCE TO PHOTONIC APPLICATIONS

Multi pints osc. microchip laser



Composite Nd:YAG/Cr:YAG
Ceramic (Ø9mm x 9.5mm)



Learn About CLEO: 2012

Select a Conference

Exhibitor Service Center

Speaker Service Center

Join the Conversation



LASEROPTICS BERLIN
International Trade Fair and Congress
19 – 21 March 2012

CLEO: Expo

CLEO: Market Focus

CLEO: Expo showcases the latest products and applications from more

The CLEO: Market Focus program focuses on the

Optics Express, 19(10), 9378 (2011).

OSAのプレス発表

CLEO Press Release
April 20 - May 18
Web Total: > 360





レーザー点火を取り巻く状況

NEDO成果報告書DB

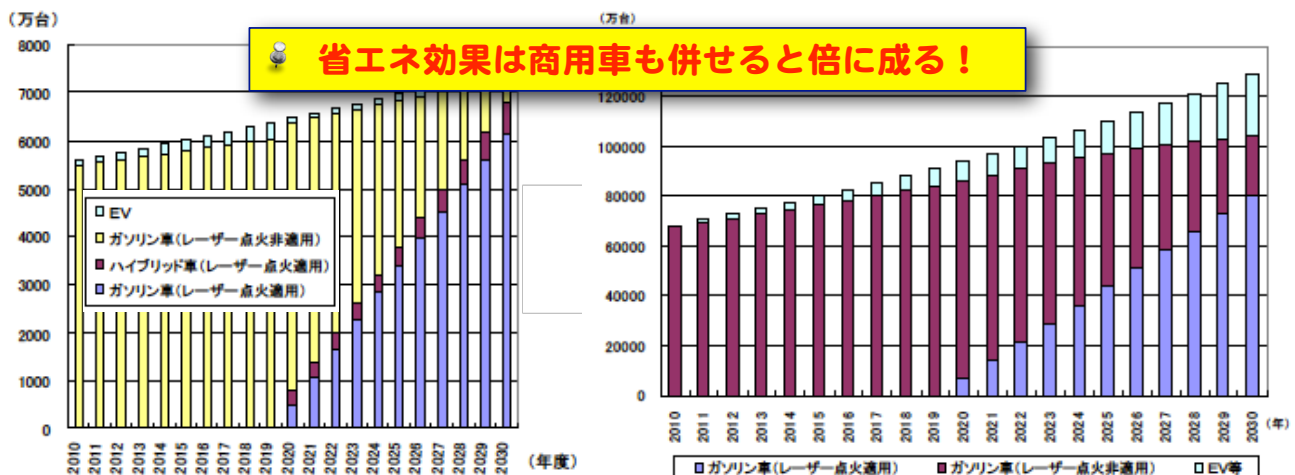
「平成23年度成果報告書 省エネルギー効果が期待される半導体レーザー応用技術に関する検討」

http://www.nedo.go.jp/library/database_index.html

- コージェネレーションで9%以上の効率改善が可能
- ガソリン自動車で26%以上の効率改善が可能
- 各種の市場予測、省エネ効果の計算が報告

レーザー点火適用エンジンの累積導入量

乗用車（レーザー点火をハイブリッド車にも適用）：26%改善



(a) 国内（報告書図6.3.5）

(b) 海外（報告書図6.3.3）

- 国内潜在累積導入量：2020 年度断面 782 万台、2030年度断面 6,789 万台)
- 海外潜在累積導入量：2020 年度断面 12,855 万台、2030年度断面 115,693 万台)
- 国内省エネ量原油換算：2020 年度断面 131 万kL/年、2030年度断面 1,313 万kL/年)
- 海外省エネ量原油換算：2020 年度断面 2,034 万kL/年、2030年度断面 21,578 万kL/年)

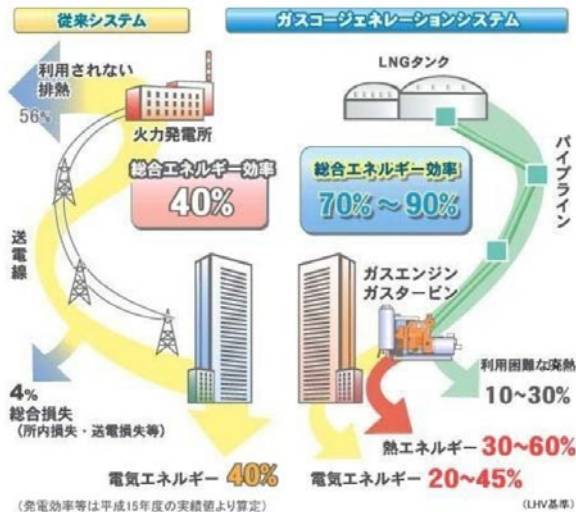
出典：平成23年度NEDO報告書「省エネルギーが期待される半導体レーザー応用技術に関する検討」

ガスコジェネレーション

必要なとき、必要な場所でエネルギーを作る“分散型エネルギーシステム”

従来の集中型発電方式

- 発電所では利用しきれない排熱が多い
- 電気を使用場所に運ぶ過程でも損失

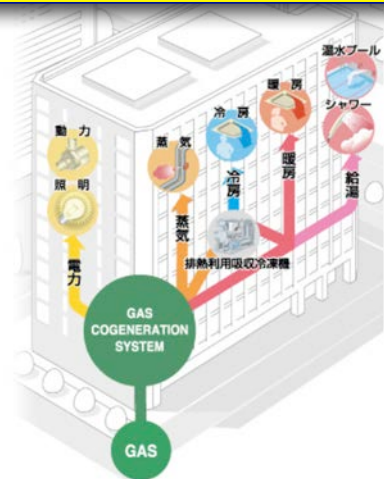


出典：日本ガス協会 <http://www.gas.or.jp/cogene/contents/01_03_02.html>
大阪ガス <<http://ene.osakagas.co.jp/product/cogeneration/about/index.html>>

コジェネレーション

- エネルギー輸送損失が無い
- 必要な場所で電気エネルギーに変換
- 排ガスや冷却水から排熱を回収

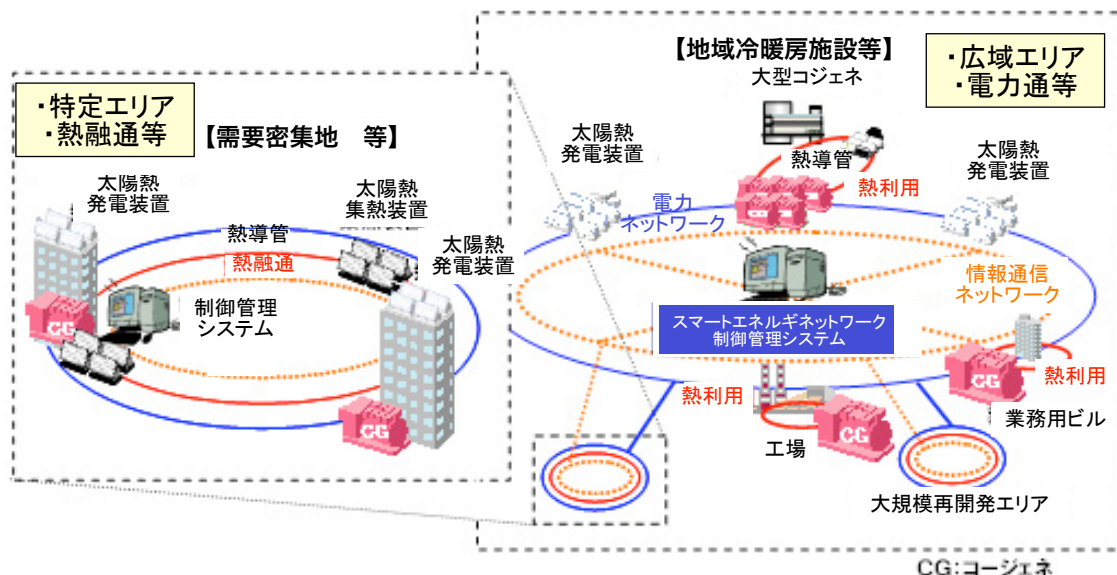
エネルギーの 70~90% が利用可能



ガスコジェネレーション

熱のネットワークの重要技術、分散電源の主要技術、CO₂低減技術として天然ガスコジェネエンジンのニーズが高まっている

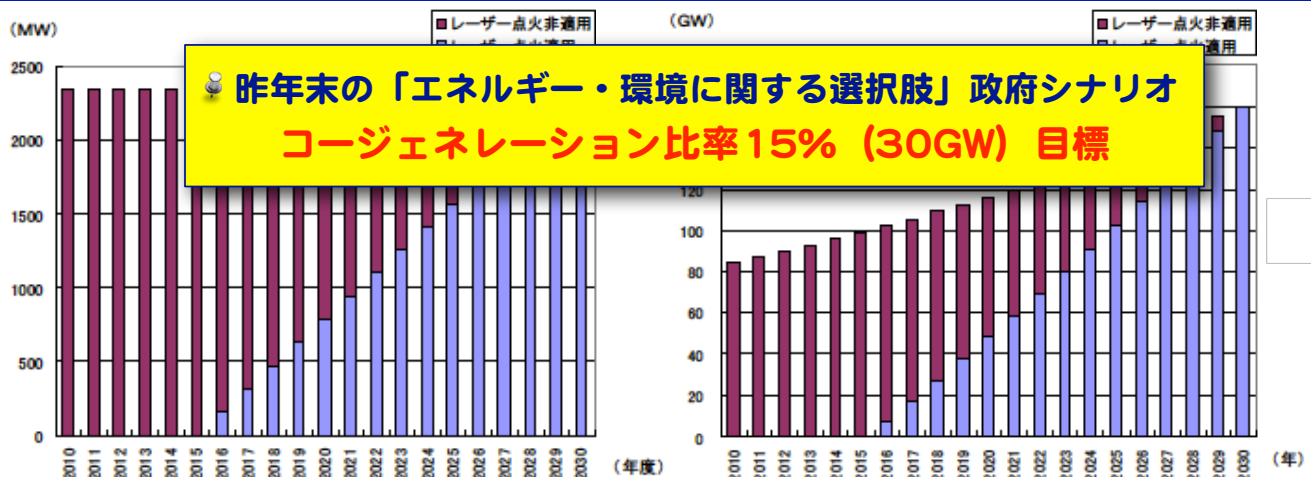
- 75%以上の高い総合効率（電気エネルギー：25~30%，利用可能排熱：35~50%）
- 電力需要に応じて出力調整→再生可能エネルギーの変動を補完可能



出典：戦略的省エネルギー技術革新プログラム 平成24年度 第2次公募 特定技術開発課題選定資料

レーザー点火適用エンジンの累積導入量

コージェネレーション用ガスエンジン：> 9%効率改善



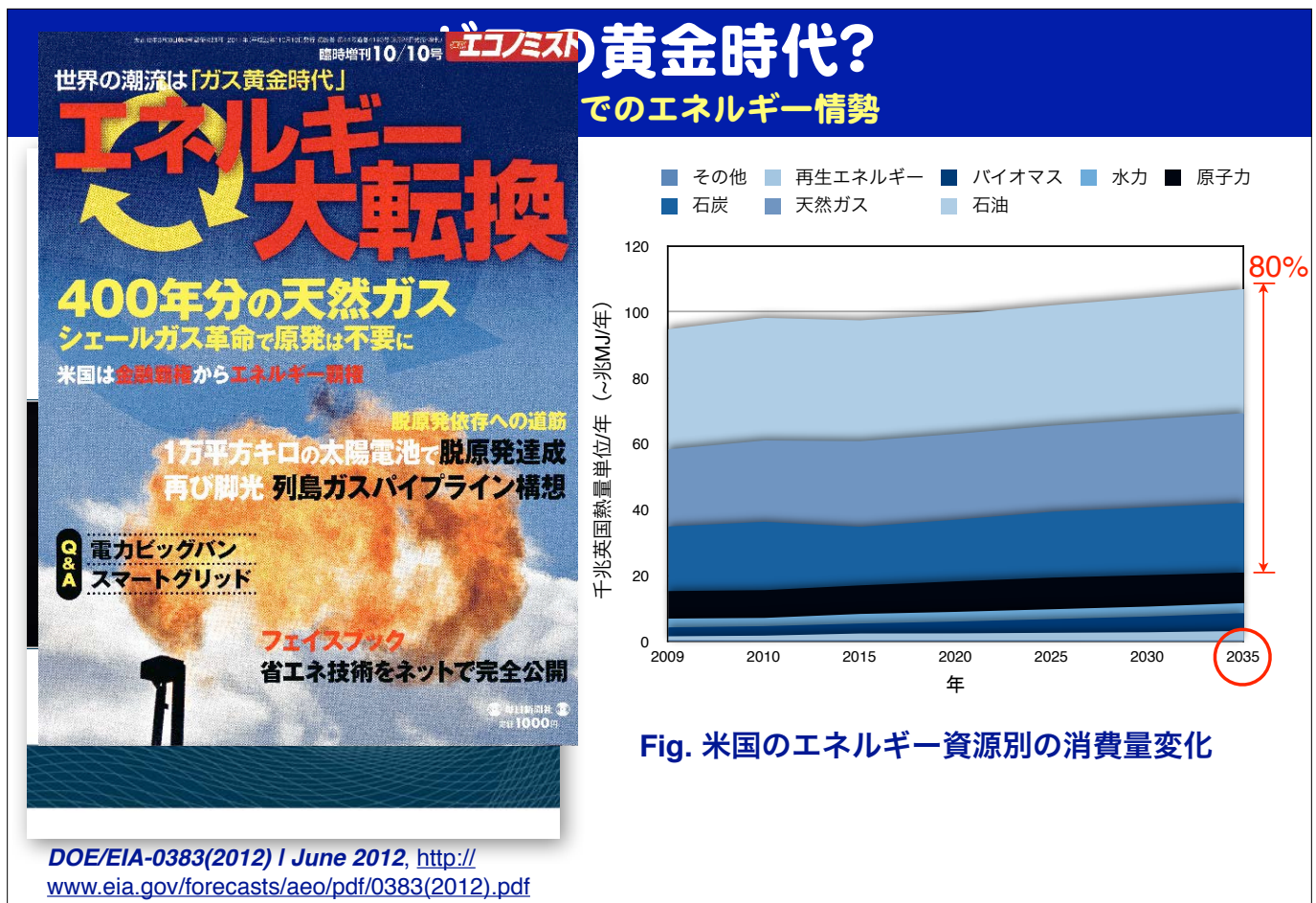
(a) 国内（報告書図6.3.2）

(b) 海外（報告書図6.3.3）

- 国内潜在市場規模：2011年3月末の統計データから市場規模は一定とした
(導入台数：7,675台、導入容量：2.35GW (全体ガス発電の25%))
- 海外潜在市場規模：2010年データから推定 (導入容量：84.3GW)

参考：原子力 55基, 49.6 GW

平成23年度NEDO報告書「省エネルギーが期待される半導体レーザー応用技術に関する検討」より



レーザー点火による省エネ (10~30%)



レーザー点火の特長

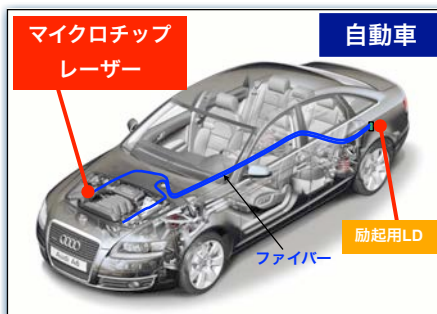
- 多点点火
- 多重点火
- 高エネルギー点火
- 可変点火位置
- くすぶり無し

点火手法の革新

- 乗用車用ガソリンエンジン
(リーンバーン, 高出力)
- コージェネレーションエンジン
ガスエンジン
(耐磨耗性, 高速燃焼)

新分野への応用

圧縮自着火燃焼エンジン
(HCCI等) の燃焼制御



低燃費

CO₂ 10-30% 削減
NOx 激減

- リーン燃焼領域拡大
- 冷却損失低減



OSA News Release
http://www.osa.org/about_os/newsroom/news_releases/

自動車は基幹産業であり、一次エネルギーの9割が石炭・石油・天然ガスに依存する

1st Laser Ignition Conference 2013 (LIC'13)

Co-located with Optics & Photonics International Congress 2013 <<http://opicon.jp>>

April 23 (Tue.) – 26 (Fri.), 2013, Pacifico Yokohama, Yokohama, Japan

Paper Deadline: Dec. 20 (Tue.) 2012

A. High brightness lasers for ignition and diagnostics

- Micro solid-state photonics: advanced laser crystals, ceramics, and micro-domain controlled materials
- Giant micro-photonics: mega-watt class giant pulse generation from micro photonics
- High power and reliable diode lasers: high power VCSELs, DFB and VBG based diodes, etc.
- High power and reliable fiber or fiber lasers, include pump delivery or giant pulse generation

B. Laser ignited engines for power generation and vehicle

- Laser induced breakdown plasma and combustion process analysis
- Laser ignition for electrical power generator and gas engine
- Laser ignition for automobile engine, using gasoline, gas, or any other fuels.
- Future combustion systems: combination with plasma assisted combustion

C. Applications of high brightness laser (Should be Joint Symposium)

- Nonlinear optics: harmonic wave generations (SHG, THG, FHG, SFG, OPO/OPG, DFG, etc.
- Diagnostics: LIBS, mass spectroscopy, gas sensing, etc.
- Materials processing: laser drilling, laser peening, etc.
- Bio-medical applications: multi-photon microscopy, laser surgery, laser therapy, etc.



**収束イオンビーム／レーザーイオン化
単一微粒子履歴解析装置**

パルスギャップレーザーによる高性能UV光源の研究

**VUV 118nm
kW ~ MW??**

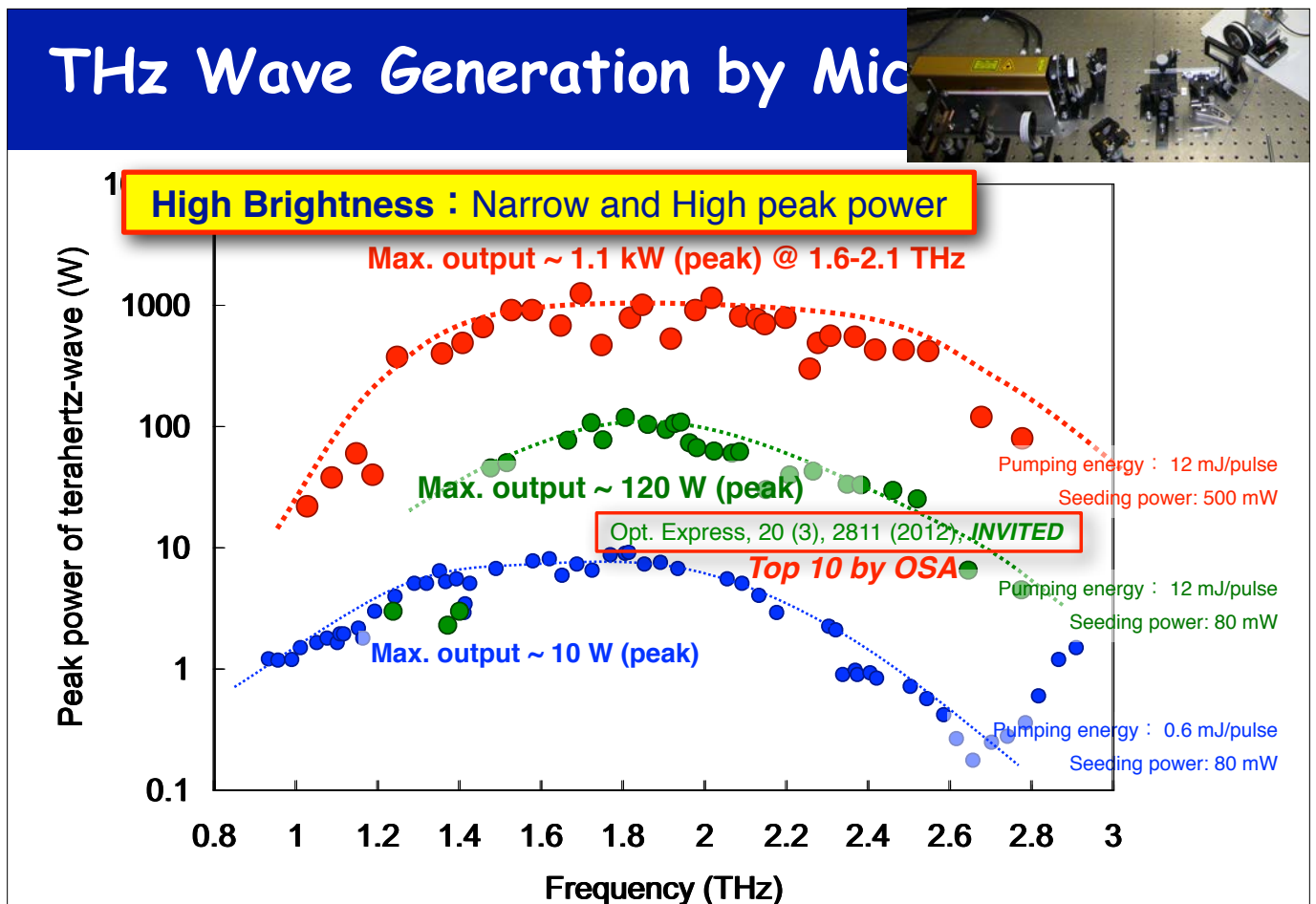
Sirah

全長 1.5m

- Pulse energy : 5 mJ
- Pulse width : 5 ns (**~1MW**)
- M^2 : ~100 ?
- Rep. rate : 30 Hz
- Average Power : 0.15 W

小型化で出力向上

- Pulse energy : 0.6 mJ
- Pulse width : 1ns - 200ps
- M^2 : ~ 3 **尖頭値 : 4.3MW**
- Rep. rate : 100Hz ~1kHz
- Average Power : 0.08 ~ 0.8 W



まとめと展望

レーザー点火： 究極のクリーンエネルギー

The Mercury laser is our first step toward a 10 Hz, high energy, solid-state laser driver for Inertial Fusion Energy



Yb:S-FAP [$\text{Yb}^{3+}:\text{Sr}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$]



1MJ Green
10-20 Hz

>1MJ Green
10-20 Hz

Inertial Fusion Energy Plant



What does IFE offer?
• Clean energy

100J IR
10 Hz

Mercury

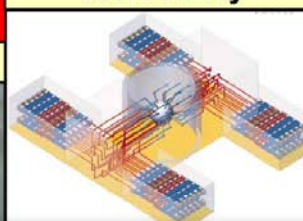


10 kJ IR
10 Hz

IRE (Bundling)



Test Facility



Conventional laser ceramics are *limited to cubic materials*

→ Optical scattering at randomly oriented grain boundaries in anisotropic polycrystalline

LOW E, SHORT LIVED, WASTE
• Burn of current waste

発光中心である希土類による配向制御

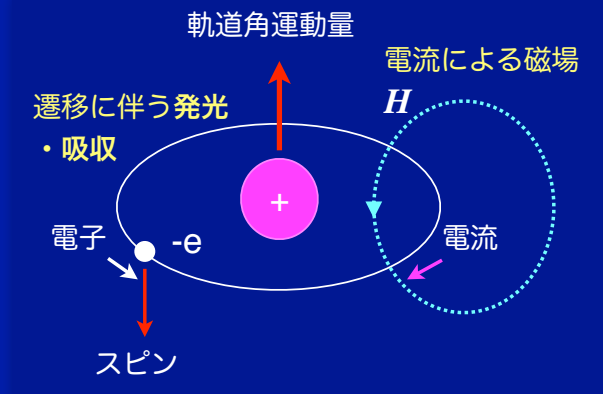
- 4f電子（内核）が不完全充填
- 外殻電子（5s²5p⁶）は完全充填

1/10ナノメートル以下の空間内に
束縛，遮蔽された電子

レーザー発光中心としての特長

非磁性体ゆえ忘れられてた特長

- 電子の運動 → 磁気モーメント
- スピン-軌道相互作用
- 結晶場
- ドメインの磁気異方性
- ドメインの磁気モーメント



ボーアモデル

発光中心のスピン-軌道相互作用による**磁気異方性増大効果**の発見と**異方性レーザーセラミックス**への展開

* T.Taira, J.Akiyama, and K.Hara :
PCT国際出願 JP2009/ 007279

マイクロドメイン制御

Applied Physics Express 4 (2011) 022703
DOI: 10.1143/APEX.4.022703

Laser Demonstration of Diode-Pumped Nd³⁺-Doped Fluorapatite Anisotropic Ceramics

Jun Akiyama*, Yoichi Sato, and Takunori Taira

Laser Research Center for Molecular Science, Institute for Molecular Science
Received December 4, 2010; accepted December 25, 2010; published

We report the first demonstration of a diode-pumped anisotropic ceram fluorapatite [Nd³⁺:Ca₁₀(PO₄)₆F₂, Nd:FAP] polycrystalline ceramics a magnetic grain-orientation control method, as a step toward achieving beams when pumped with a central wavelength of 807.5 nm and a 2 nm We obtained a maximum QCW peak power of 255 mW with an uncoate

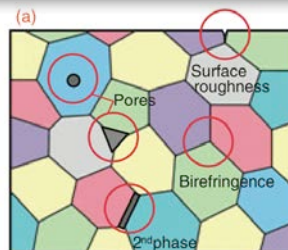
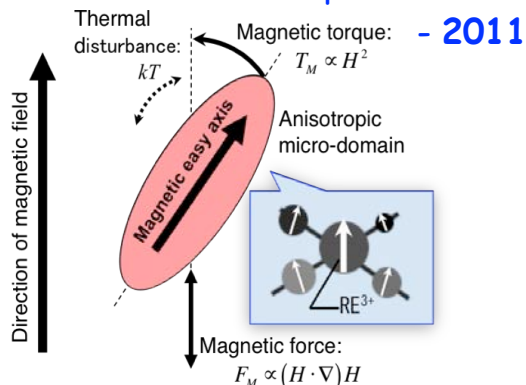
#149814 - \$15.00 USD Received 23 Jun 2011; revised 24 Aug 2011; accepted 25 Aug 2011; published 30 Aug 2011
(C) 2011 OSA 1 September 2011 / Vol. 1, No. 5 / OPTICAL MATERIALS EXPRESS 1040

Domain-controlled laser ceramics toward Giant Micro-photonics [Invited]

Takunori Taira*

Laser Research Center for Molecular Science, Institute for Molecular Science, 38 Nishigonaka, Myodaiji, Okazaki 444-8585, Japan
*taira@ims.ac.jp

First Laser in Anisotropic Ceramics



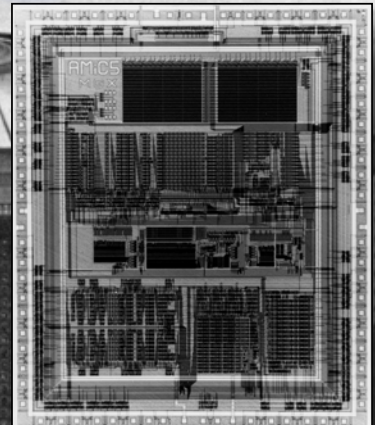
(b)

Laser Research Center for Molecular Science, Institute for Molecular Science, 38 Nishigonaka, Myodaiji, Okazaki 444-8585, Japan
*taira@ims.ac.jp

固体レーザーによる革新



真空管から固体化, 集積化
させることで大きなインパクト




次世代固体レーザー

- ▶ Qスイッチによるジャイアントパルス
- ▶ モードロックによる超短パルス

高強度レーザーを固体・集積化することで高度なエネルギー変換が身近に
: ジャイアントマイクロフォトニクス

<http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Eniac.jpg?uselang=ja>

 Japan Science and Technology Agency

Thank you for your attention



Giant Micro.photonics

This work was partially financed by Japan Science and Technical Agency (JST), and partially supported by DENSO Company, Japan. The authors thank Mr. Mizutani of the IMS Equipment Development Division for the help with the laser module design.

 DENSO Japan

 SOKEN