



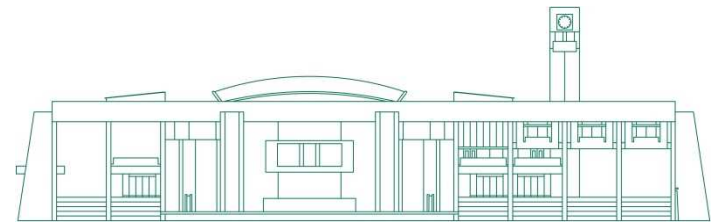
# GaNを用いた新しいエレクトロニクスと 省・創エネルギーへの貢献



名古屋大学  
NAGOYA UNIVERSITY

名古屋大学大学院工学研究科電子情報システム専攻教授  
名古屋大学赤崎記念研究センター長

天野 浩



# なぜ研究テーマとして青色LEDを選んだか？

1970

1967  
気相成長 AlN  
松下技研(株)



赤崎 勇

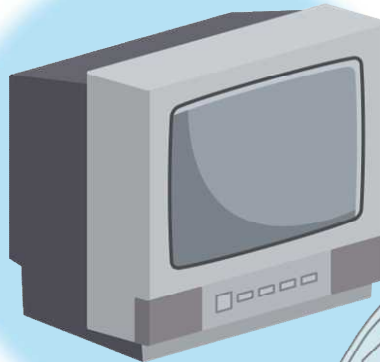
1981 名古屋大学  
1992- 名城大学  
(名古屋大学名誉教授)

1980

1981  
名古屋大学

1982 卒業研究

研究テーマ  
“窒化物青色LED”



TVのブラウン管  
は、大きすぎる！

もし自分が青色  
LEDを作れば、世  
界を一変できるに  
違いない！

# GaN青色LED開発の歴史



**赤崎 勇**  
 1981 名古屋大学  
 1992- 名城大学  
 (名古屋大学名誉教授)

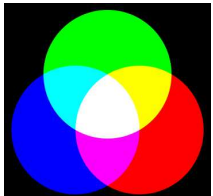
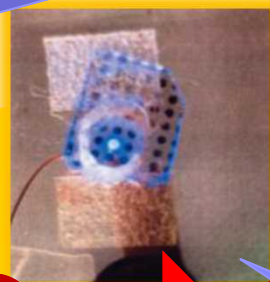
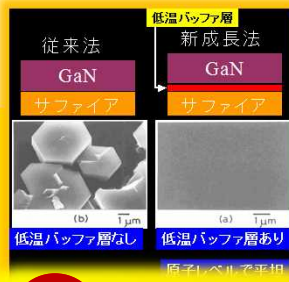


**中村修二**  
 (日亜化学工業㈱、現在UCSB)

1989~1993:  
 GaN低温バッファ  
 熱処理によるp型GaN  
 InGaN/GaN ダブルヘテロ



ワイドギャップGaN 青色LED



光の三原色

1980

1985

1990

1995

1985 低温バッファ(修士課程)  
 1989 p型GaN(助手)

**天野 浩**  
 1988 名古屋大学助手  
 1989 工学博士(名古屋大学)  
 1992-2010 名城大学講師一教授  
 2010 名古屋大学教授



1989 JST  
 1995 事業化

豊田合成(株)

1999:白色 LED



黄色蛍光体

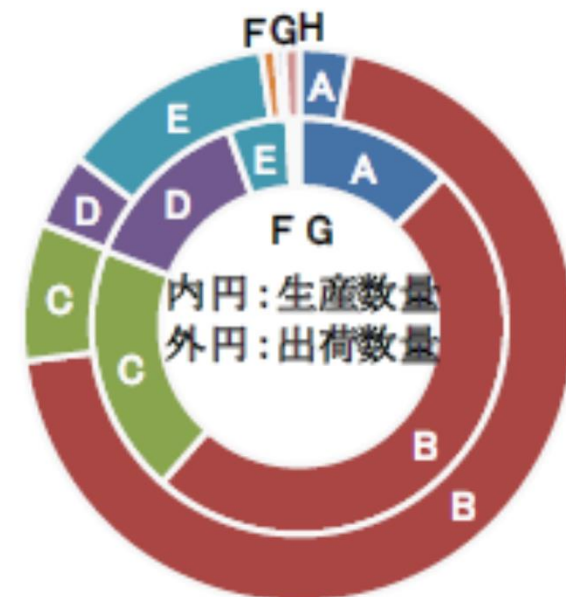


© Rotatebot

## 国・地域別LED生産量

| 地域 |       | 生産数量    |         | 出荷数量    |         |
|----|-------|---------|---------|---------|---------|
|    |       | (100万個) | ウェイト(%) | (100万個) | ウェイト(%) |
| A  | 日本    | 29,201  | 12.3    | 7,210   | 3.0     |
| B  | 中国    | 116,280 | 49.1    | 165,503 | 69.9    |
| C  | 台湾    | 46,003  | 19.4    | 19,050  | 8.0     |
| D  | 韓国    | 32,070  | 13.6    | 10,100  | 4.3     |
| E  | 東南アジア | 11,050  | 4.7     | 29,640  | 12.5    |
| F  | 北米    | 960     | 0.4     | 2,051   | 0.9     |
| G  | 欧州    | 1,100   | 0.5     | 1,051   | 0.4     |
| H  | その他   | -       | -       | 2,060   | 0.9     |
| 合計 |       | 236,664 | 100.0   | 236,664 | 100.0   |

【富士キメラ総研推定】



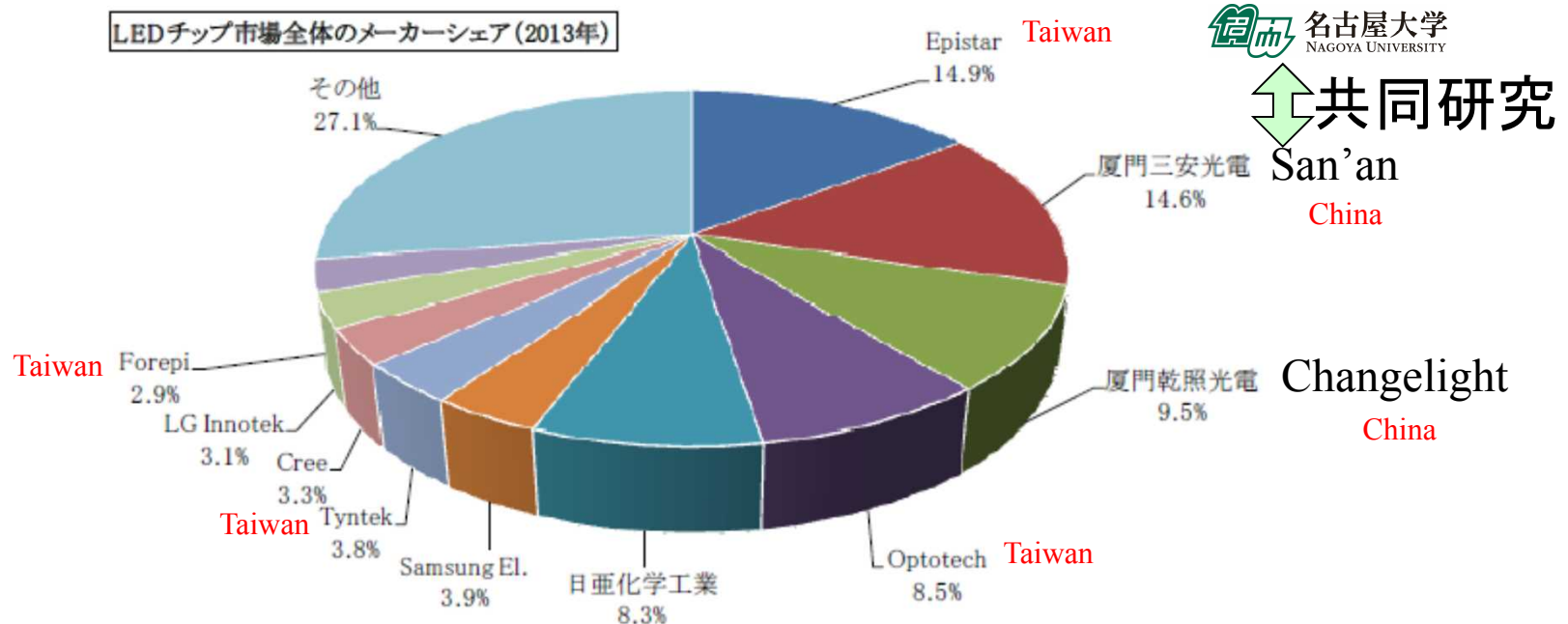
※北米と欧州の出荷数量は端数を四捨五入して掲載したため、合計は一致しない。

LEDによる省エネに世界で最も貢献しているのは中国企業！

| メーカー        | 可視光LED(赤/橙/黄色系) |       | 可視光LED(青/緑色系) |       | 赤外光LED  |       | 紫外光LED  |       | 合計      |       |
|-------------|-----------------|-------|---------------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
|             | (100万個)         | (%)   | (100万個)       | (%)   | (100万個) | (%)   | (100万個) | (%)   | (100万個) | (%)   |
| Epistar     | 26,000          | 17.9  | 36,240        | 13.8  | 360     | 2.5   | -       | -     | 62,600  | 14.9  |
| 厦門三安光電      | 24,000          | 16.5  | 37,500        | 14.3  | -       | -     | -       | -     | 61,500  | 14.6  |
| 厦門乾照光電      | 40,000          | 27.5  | -             | -     | 100     | 0.7   | -       | -     | 40,100  | 9.5   |
| Optotech    | 26,000          | 17.9  | -             | -     | 9,900   | 67.8  | -       | -     | 35,900  | 8.5   |
| 日亜化学工業      | -               | -     | 35,000        | 13.4  | -       | -     | 10      | 71.4  | 35,010  | 8.3   |
| Samsung El. | -               | -     | 16,600        | 6.3   | -       | -     | -       | -     | 16,600  | 3.9   |
| Tyntek      | 5,500           | 3.8   | 7,500         | 2.9   | 3,200   | 21.9  | -       | -     | 16,200  | 3.8   |
| Cree        | -               | -     | 14,000        | 5.3   | -       | -     | -       | -     | 14,000  | 3.3   |
| LG Innotek  | -               | -     | 13,100        | 5.0   | -       | -     | -       | -     | 13,100  | 3.1   |
| Forepi      | -               | -     | 12,100        | 4.6   | -       | -     | -       | -     | 12,100  | 2.9   |
| その他         | 23,700          | 16.3  | 89,660        | 34.3  | 1,040   | 7.1   | 4       | 28.6  | 114,404 | 27.1  |
| 合計          | 145,200         | 100.0 | 261,700       | 100.0 | 14,600  | 100.0 | 14      | 100.0 | 421,514 | 100.0 |

【富士カメラ総研推定】

LEDチップ市場全体のメーカーシェア(2013年)

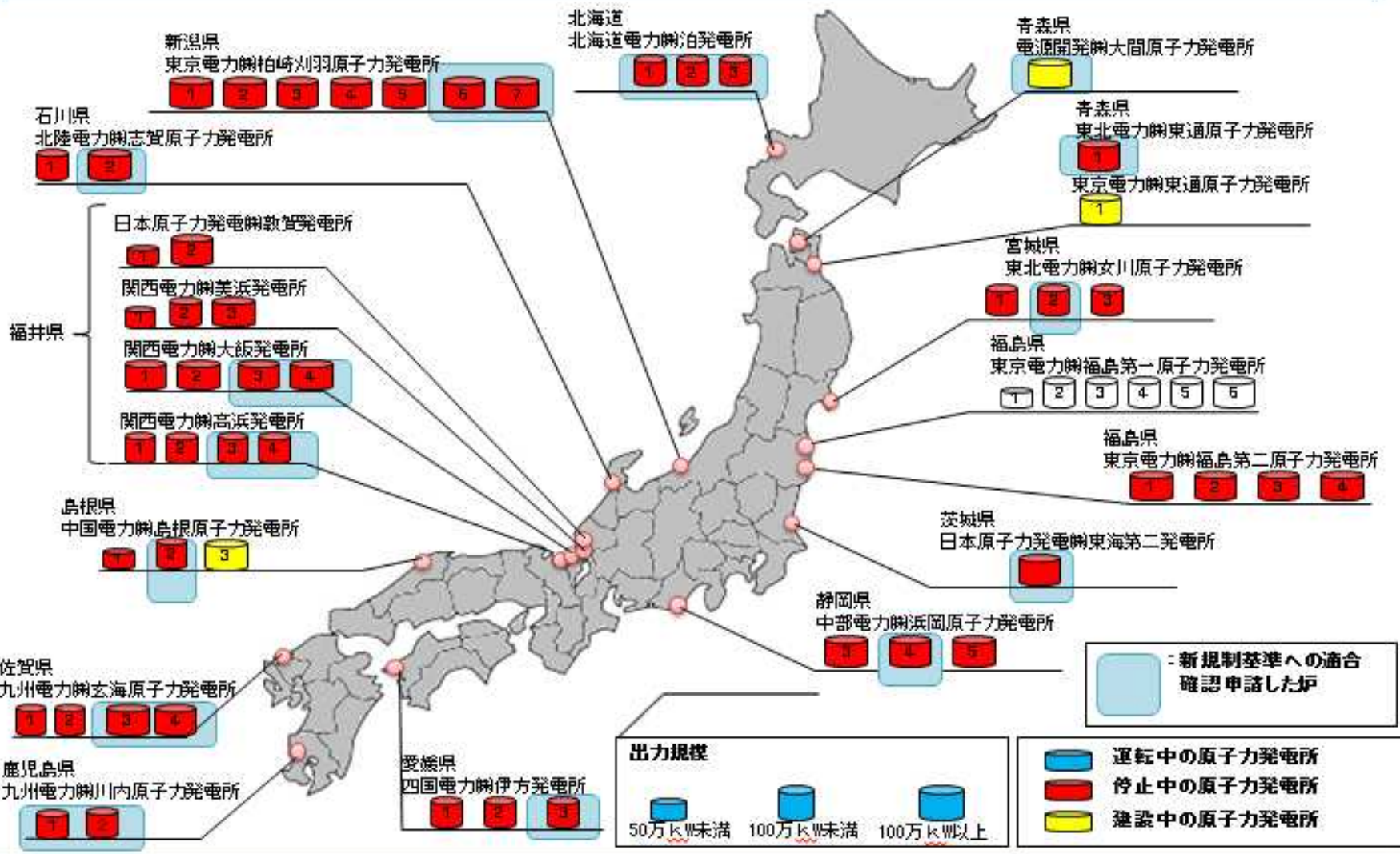




# 日本における発電の現状

## 原子力発電所の運転状況について(平成26年12月19日時点)

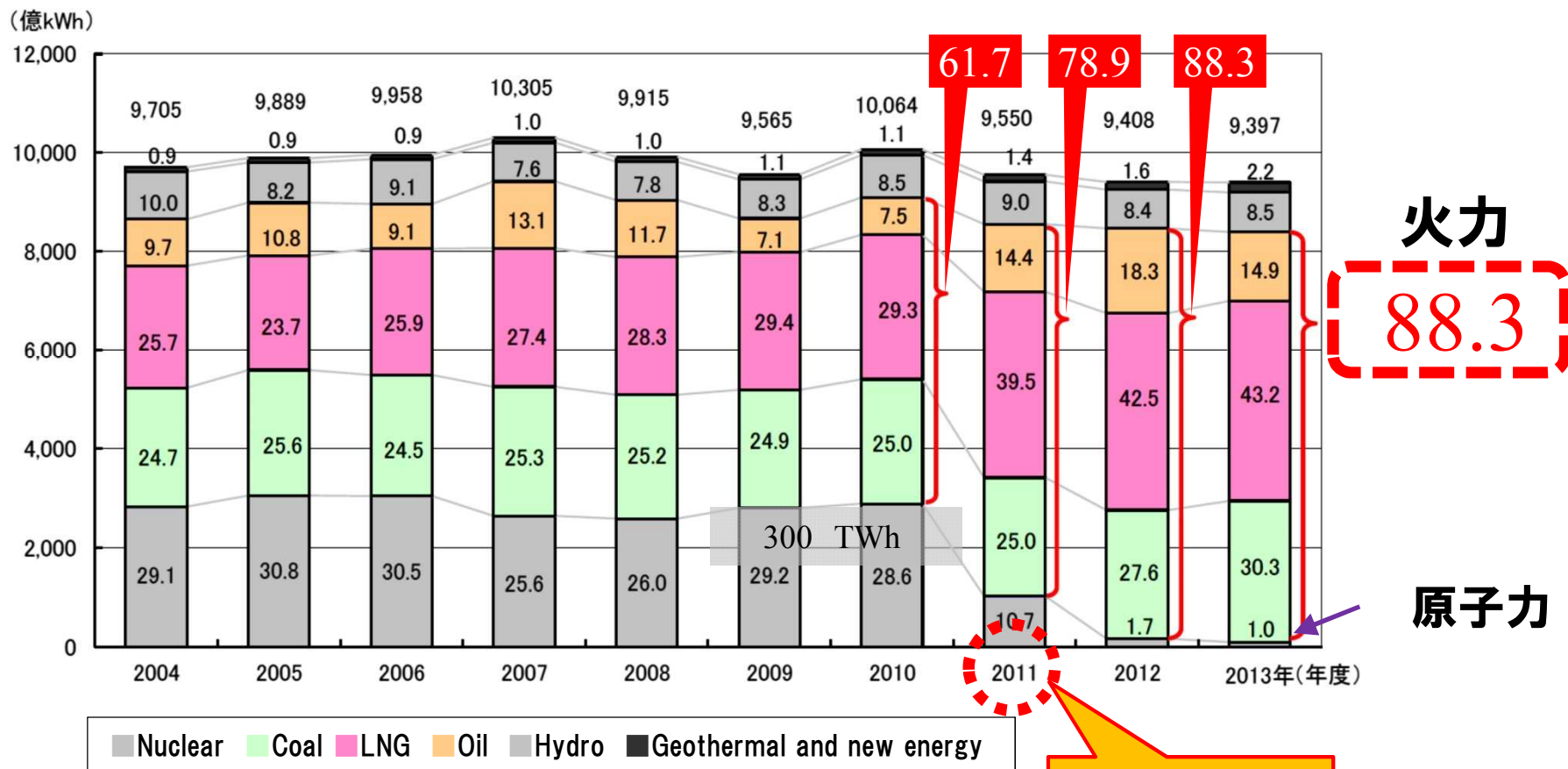
■国内の商業用原子炉は48基(新規制基準への適合性確認は14原発21基が申請)。



# 日本における発電割合の推移

2014.5.23

The Federation of Electric Power Companies of Japan



(注) 10 電力計、他社受電分を含む。石油等にはLPG、その他ガスを含む。  
 グラフ内の数値は構成比 (%)。四捨五入の関係により構成比の合計が 100%にならない場合がある。

2011年3月11日  
 東日本大震災

[http://www.fepc.or.jp/about\\_us/pr/pdf/kaiken\\_s1\\_20140523.pdf](http://www.fepc.or.jp/about_us/pr/pdf/kaiken_s1_20140523.pdf)

# アメリカにおけるLED照明の市場浸透予測

Table ES. 1 Total U.S. LED Forecast Results

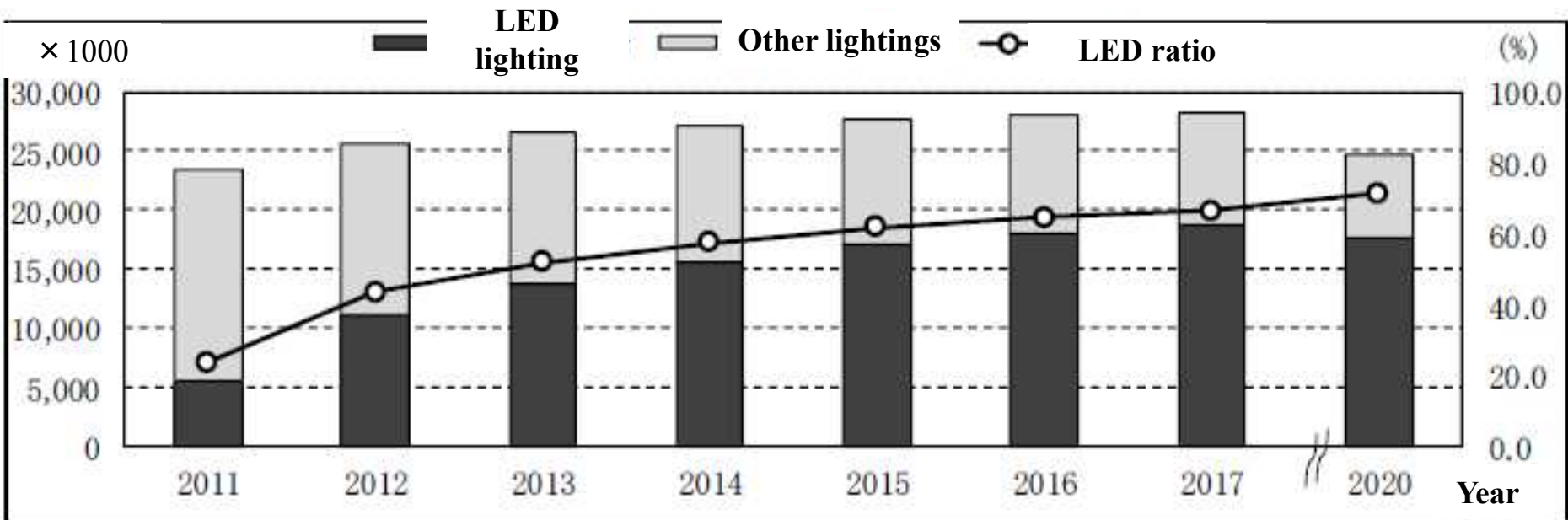
|  | 2010       | 2015        | 2020         | 2025         | 2030         | Cumulative<br>(2010-2030) |
|--|------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------------------|
| <b>Baseline site electricity consumption (TWh)</b> | <b>694</b> | <b>635</b>  | <b>631</b>   | <b>641</b>   | <b>648</b>   | <b>13,535</b>             |
| Residential  | 173        | 142         | 138          | 146          | 153          | 3,105                     |
| Commercial   | 346        | 325         | 321          | 320          | 316          | 6,806                     |
| Industrial   | 58         | 49          | 44           | 41           | 38           | 947                       |
| Outdoor Stationary                                 | 116        | 119         | 128          | 135          | 141          | 2,676                     |
| <b>LED market share (% of lm-hr)</b>               | -          | <b>9.5%</b> | <b>35.8%</b> | <b>59.0%</b> | <b>73.7%</b> | -                         |
| Residential  | -          | 8.1%        | 37.6%        | 60.7%        | 72.3%        | -                         |
| Commercial   | -          | 5.0%        | 27.8%        | 52.5%        | 70.4%        | -                         |
| Industrial   | -          | 8.8%        | 36.0%        | 59.2%        | 72.3%        | -                         |
| Outdoor Stationary                                 | -          | 29.0%       | 64.2%        | 81.6%        | 87.2%        | -                         |
| <b>Site electricity savings (TWh)</b>              | -          | <b>21</b>   | <b>122</b>   | <b>217</b>   | <b>297</b>   | <b>2,672</b>              |
| Residential  | -          | 7           | 51           | 82           | 102          | 1,009                     |
| Commercial   | -          | 6           | 38           | 73           | 111          | 902                       |
| Industrial   | -          | 0           | 3            | 8            | 11           | 88                        |
| Outdoor Stationary                                 | -          | 7           | 30           | 54           | 73           | 673                       |
| <b>Site electricity savings (%)</b>                | -          | <b>3.3%</b> | <b>19.4%</b> | <b>33.9%</b> | <b>45.8%</b> | <b>19.7%</b>              |
| Residential  | -          | 5.1%        | 37.3%        | 56.7%        | 66.9%        | 32.5%                     |
| Commercial   | -          | 1.9%        | 11.7%        | 22.9%        | 35.0%        | 13.3%                     |
| Industrial   | -          | 0.8%        | 7.4%         | 18.3%        | 29.4%        | 9.3%                      |
| Outdoor Stationary                                 | -          | 6.2%        | 23.7%        | 40.2%        | 51.7%        | 25.2%                     |

全消費電力量  
4273 TWh

297/4273 ~ 7%



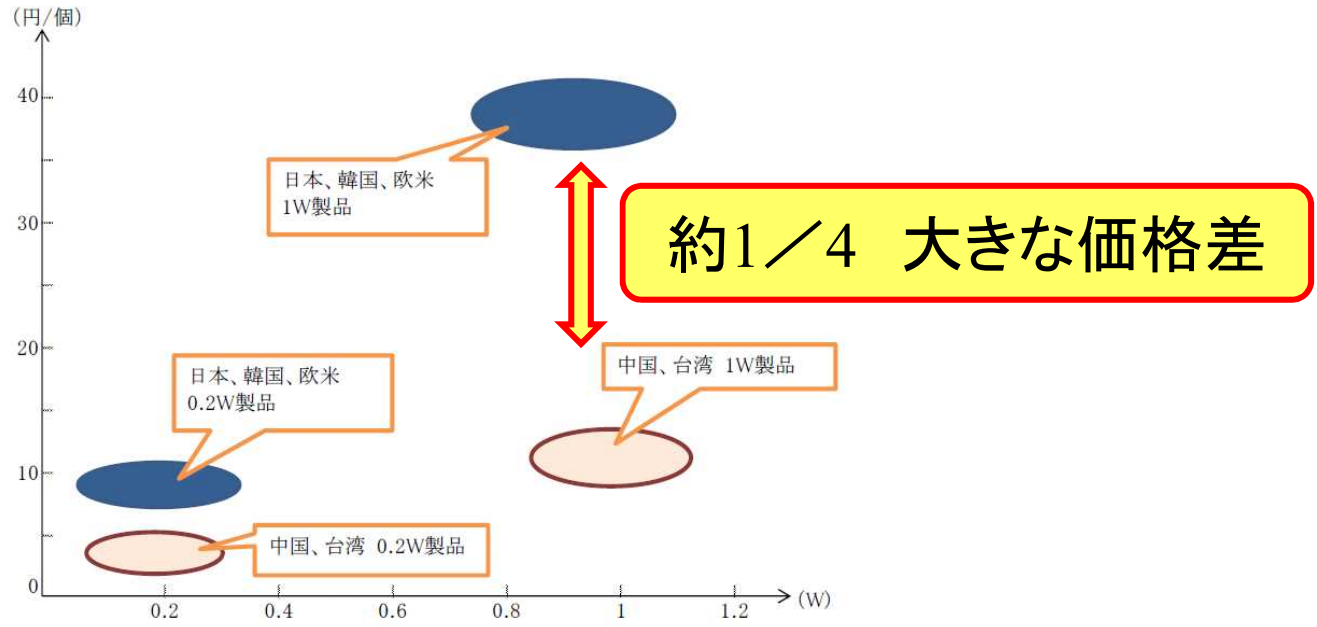
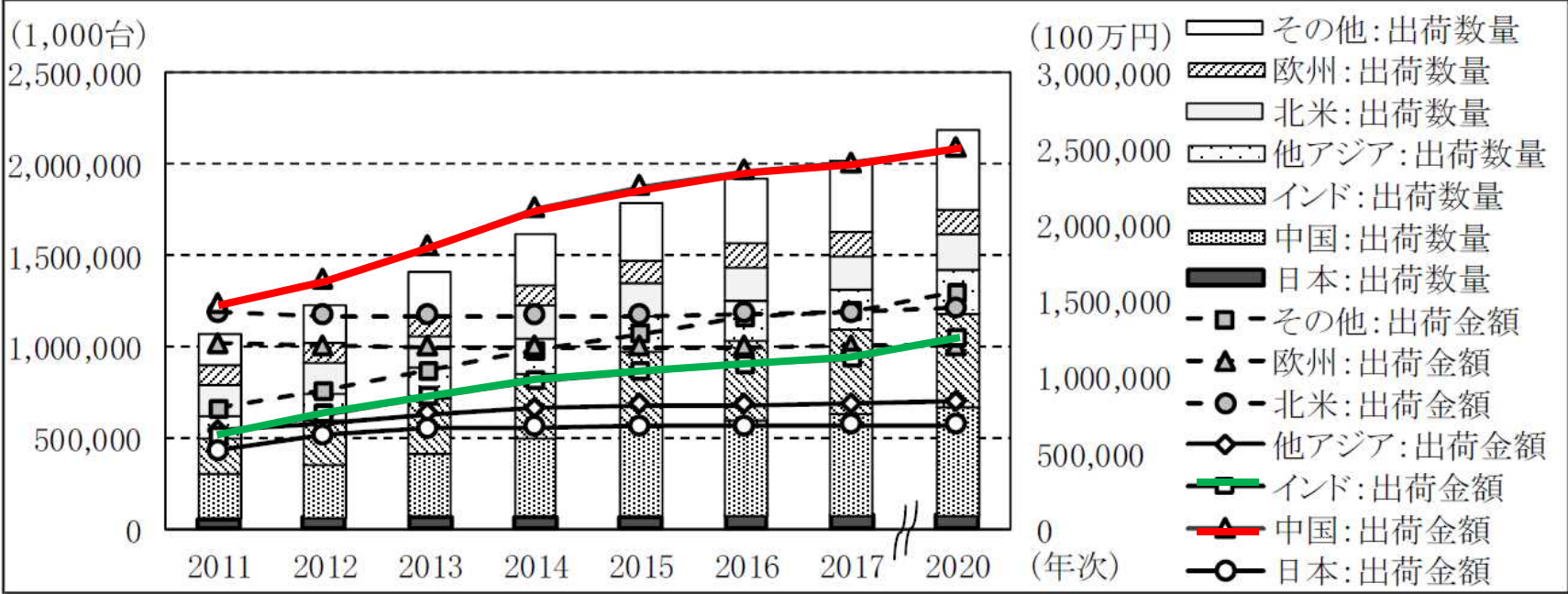
# 日本におけるLED照明の市場浸透予測



Data from Fuji Chimera Research Institute, Inc.,  
2014 LED Related Market Survey

LED照明の普及により、2020年までに全発電量のうちの約7%  
(約1兆円分)の電力消費削減が可能！

# 中国からの出荷金額の将来予測



# LEDの普及促進のための課題

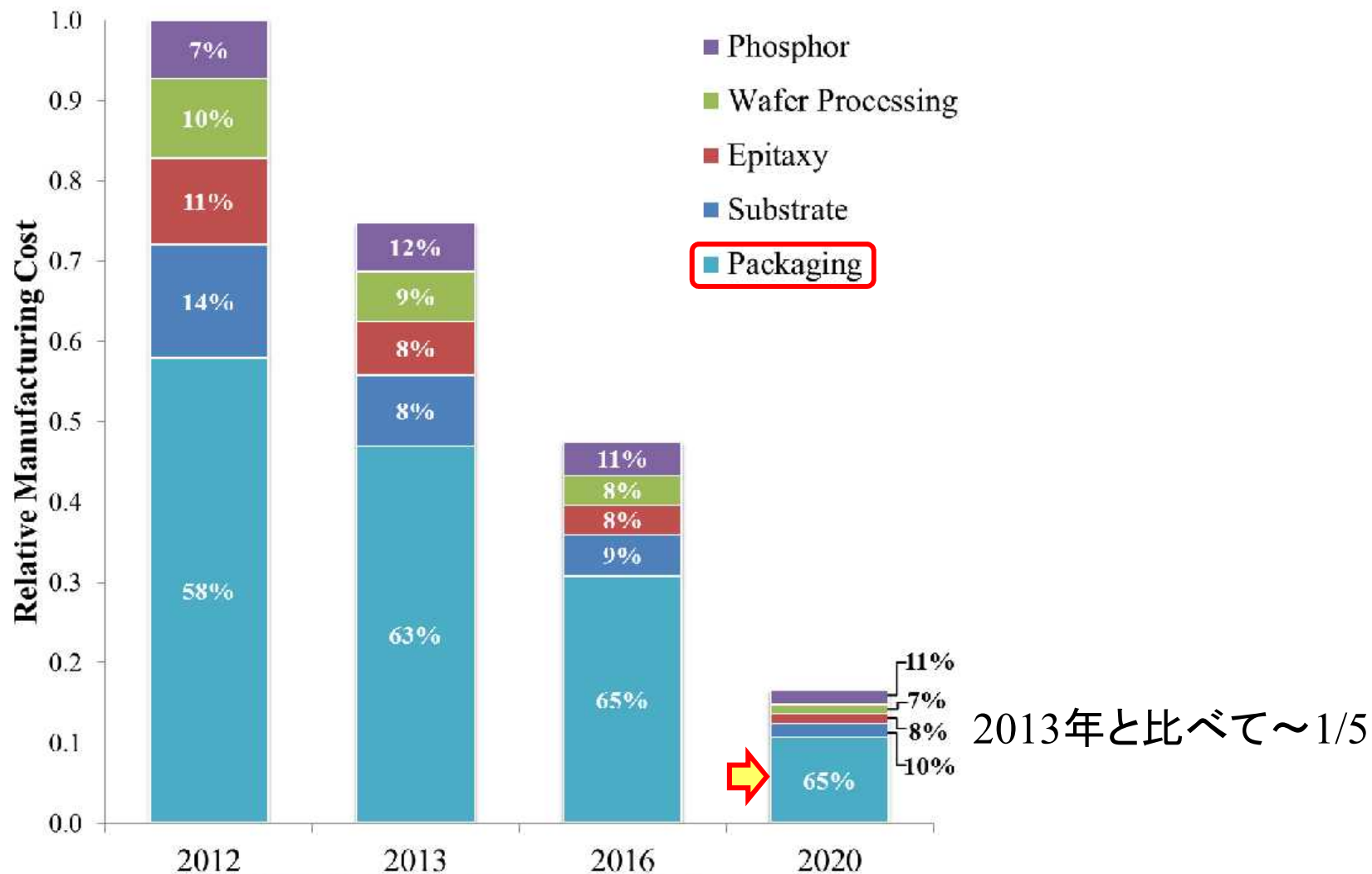
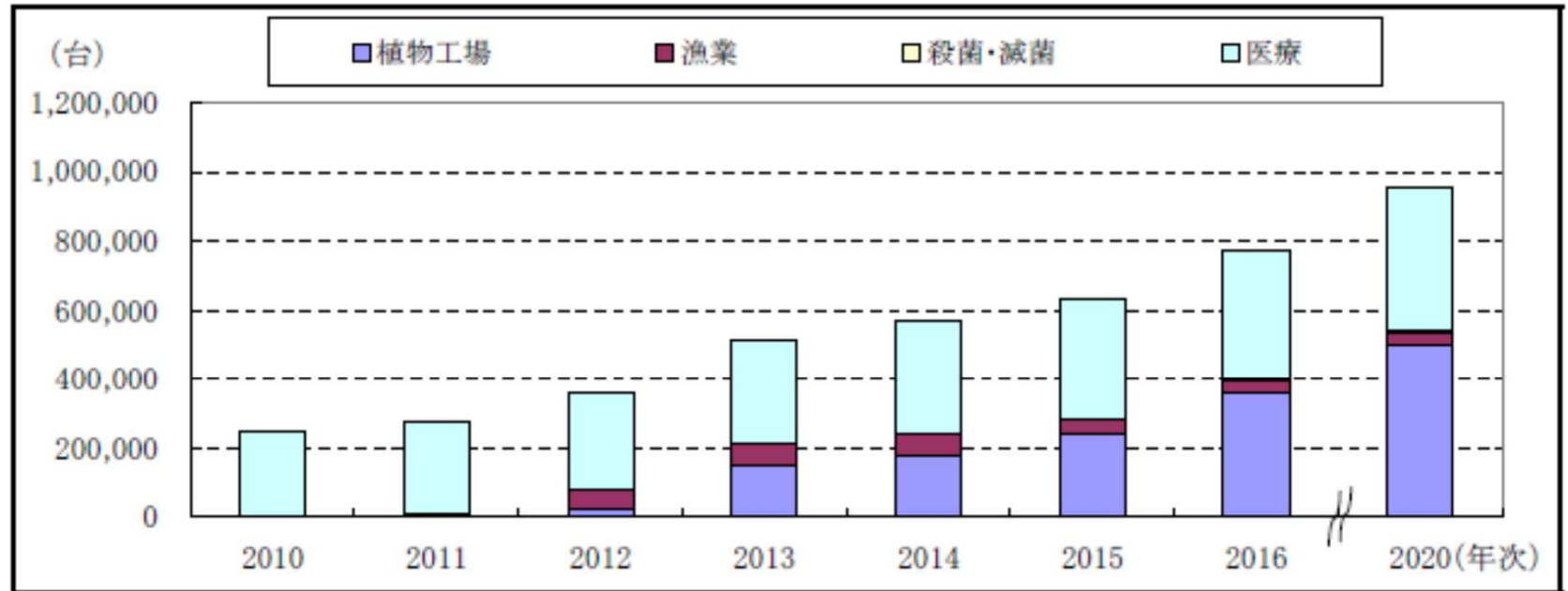


Figure 1.7 Projected LED Package Cost Reduction  
 Source: DOE SSL Roundtable and Workshop attendees

US Department of Energy

Solid state lighting Research and Development: Manufacturing Roadmap September 2013

# ディスプレイ照明以外の期待される産業用LED応用



(単位: 台)

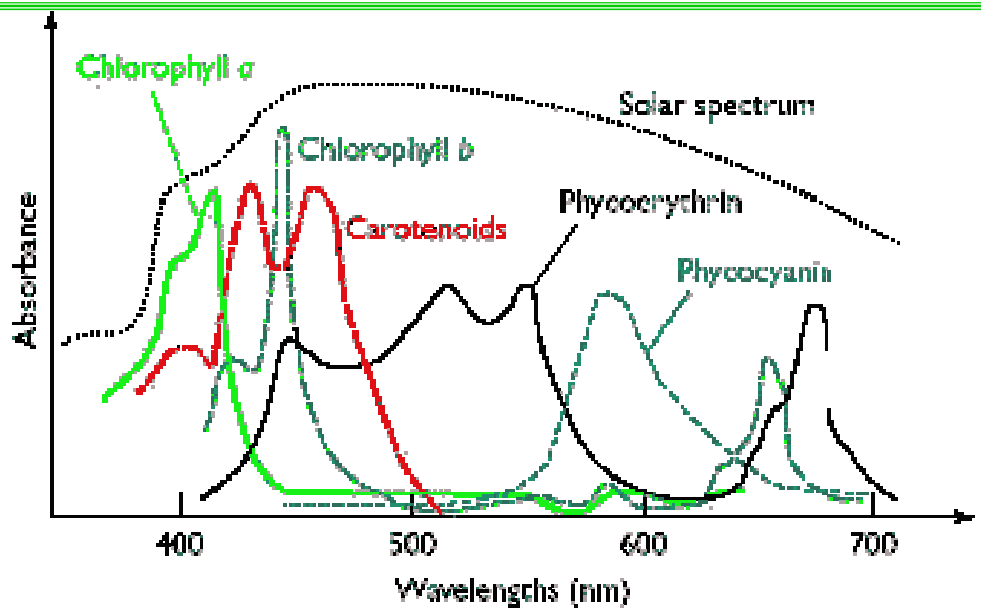
| 摘要     | 年次     | 実績      |         |         | 見込      | 予測      |         |         | 長期予測    |
|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|        |        | 2010    | 2011    | 2012    | 2013    | 2014    | 2015    | 2016    | 2020    |
| 植物工場   |        | 2,100   | 7,100   | 22,350  | 151,000 | 181,700 | 242,500 | 361,000 | 504,000 |
|        | 前年比(%) | -       | 338.1   | 314.8   | 675.6   | 120.3   | 133.5   | 148.9   | -       |
| 漁業     |        | 2,000   | 2,000   | 60,000  | 60,000  | 60,000  | 40,000  | 36,000  | 30,000  |
|        | 前年比(%) | -       | 100.0   | 3,000.0 | 100.0   | 100.0   | 66.7    | 90.0    | -       |
| 殺菌・滅菌  |        | -       | -       | -       | △       | 100     | 700     | 2,100   | 10,700  |
|        | 前年比(%) | -       | -       | -       | -       | -       | 700.0   | 300.0   | -       |
| 医療     |        | 242,000 | 268,800 | 281,300 | 305,600 | 329,200 | 351,300 | 371,500 | 410,900 |
|        | 前年比(%) | -       | 111.1   | 104.7   | 108.6   | 107.7   | 106.7   | 105.8   | -       |
| 出荷数量合計 |        | 246,100 | 277,900 | 363,650 | 516,600 | 571,000 | 634,500 | 770,600 | 955,600 |
|        | 前年比(%) | -       | 112.9   | 130.9   | 142.1   | 110.5   | 111.1   | 121.4   | 124.0   |

△: 僅少

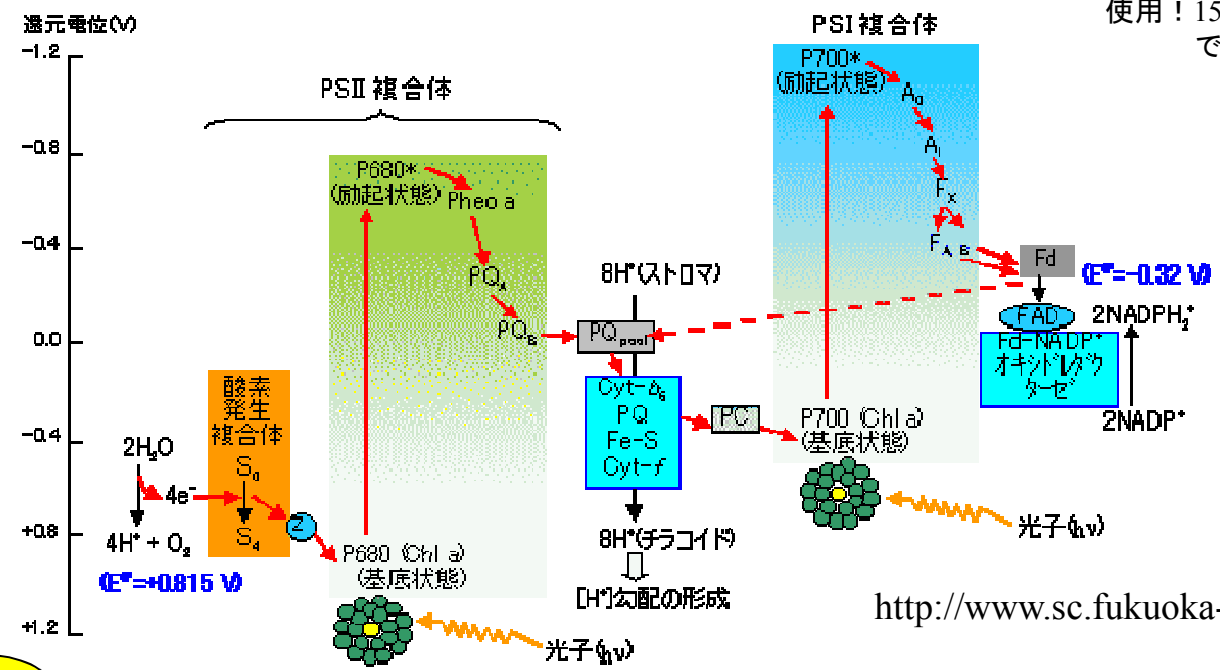
【富士キメラ総研推定】



# 食物工場用光源



[http://www.amazon.co.jp/植物育成-水耕栽培などに225球使用！15W強力植物育成LED照明-低消費電力で長寿命で明るい照明-a145-赤、青\(植物育成仕様\)/dp/B0042NV9YM](http://www.amazon.co.jp/植物育成-水耕栽培などに225球使用！15W強力植物育成LED照明-低消費電力で長寿命で明るい照明-a145-赤、青(植物育成仕様)/dp/B0042NV9YM)



<http://www.sc.fukuoka-u.ac.jp/~bc1/Biochem/photosyn.htm>

# 医療用光源 動物の行動制御

A blue-shifted light-driven proton pump for neural silencing

Yuki Suto, Ayako Okazaki, Hikaru Ono, Jin Yagasaki, Seiya Sugo, Motoshi Kamiya, Louisa Reissig, Keiichi Inoue, Kunio Ihara, Hideki Kandori, Shin Takagi and Shigehiko Hayashi

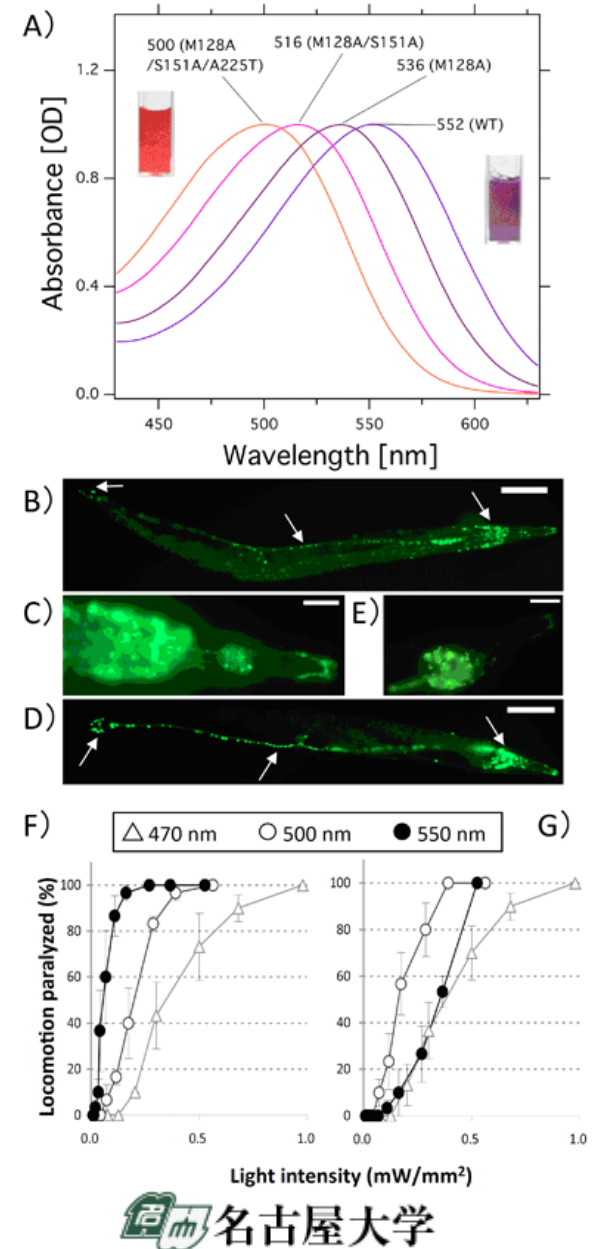
<http://www.bio.nagoya-u.ac.jp/paper/2013-21/15.html>

JBC Papers in Press. Published on May 28, 2013 as Manuscript M113.475533

The latest version is at

<http://www.jbc.org/cgi/doi/10.1074/jbc.M113.475533>

青色光受容型分子(青色光が吸収され橙色に見える)の作成(A)、線虫における発現確認(B-E)と、野生型(F)及び変異体(G)の光応答性。変異体は黒丸の550nmより、白丸の500nmで効率的に神経抑制(縦軸)が誘起されることがわかる。



# 医療用光源 動物の行動制御と光遺伝学

光活性化イオンチャネルであるチャンネルロドプシン2またはハロロドプシンを特定のニューロンに遺伝子工学的手法を用いて強制発現させた後、これらの細胞に特定の波長の光を照射することにより、標的とするニューロンをそれぞれ興奮または抑制させることができる。(Wikipediaより)



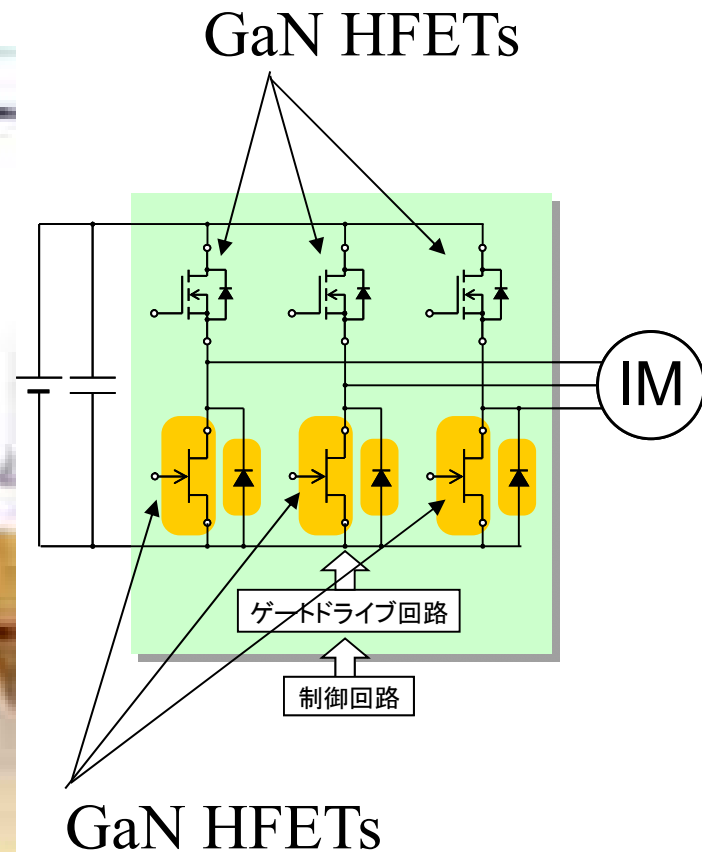
Washington University School of Medicine in St. Louis and the University of Illinois at Urbana-Champaign  
Read more: <http://www.33rdsquare.com/2013/04/scientists-develop-tiny-implantable-led.html#ixzz2u7anAwHi>

<http://www.33rdsquare.com/2013/04/scientists-develop-tiny-implantable-led.html>

Science 12 April 2013:Vol. 340 no. 6129 pp. 211-216

光反応制御＝クリーン

# パワーデバイスへの応用



## GaN HFETs を用いたモータ制御用インバータ

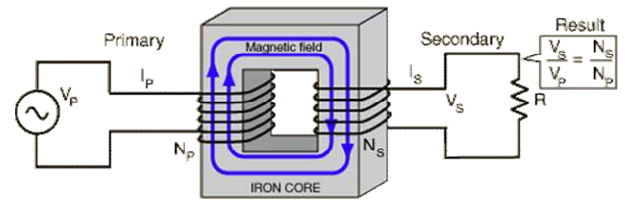
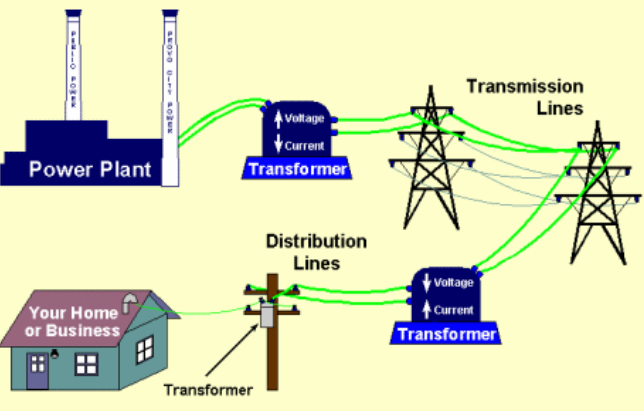


独立行政法人  
新エネルギー・産業技術総合開発機構

「次世代照明等の実現に向けた窒化物半導体等基盤技術開発／ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発－窒化物系化合物半導体基板・エピタキシャル成長技術の開発」



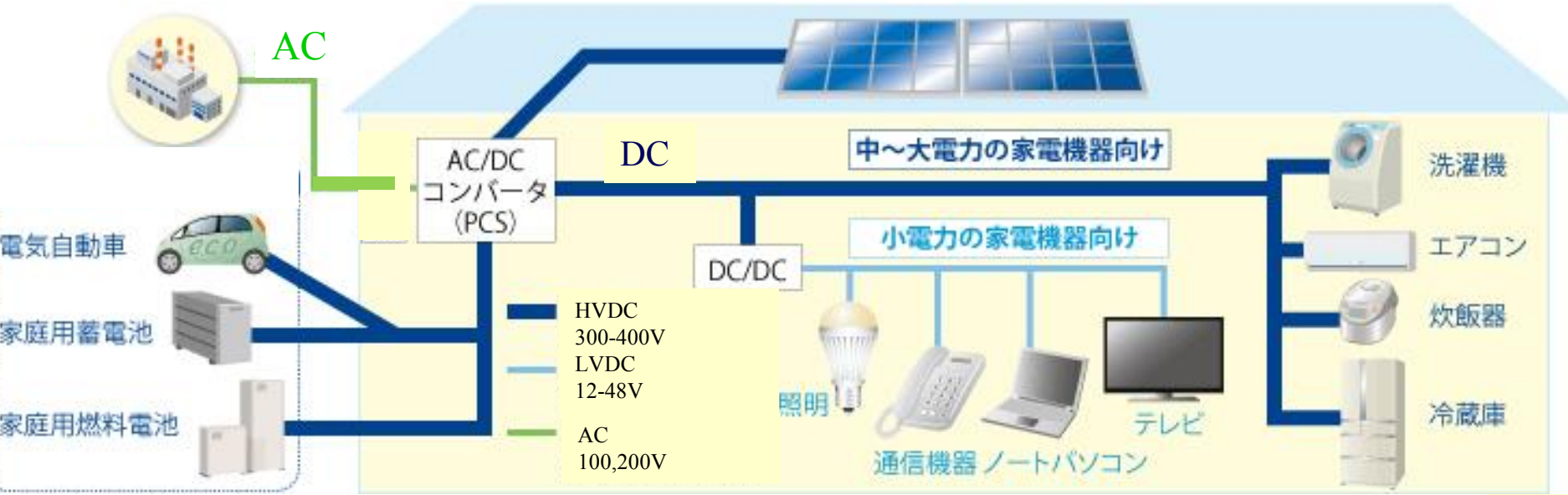
# 家庭及びオフィスでの直流電化製品の増加



<https://www.patana.ac.th/secondary/science/anphysics/ntopic12/commentary.htm>

これまで: 交流送電および変圧器による電圧変換

## 直流高電圧および低電圧製品の増加



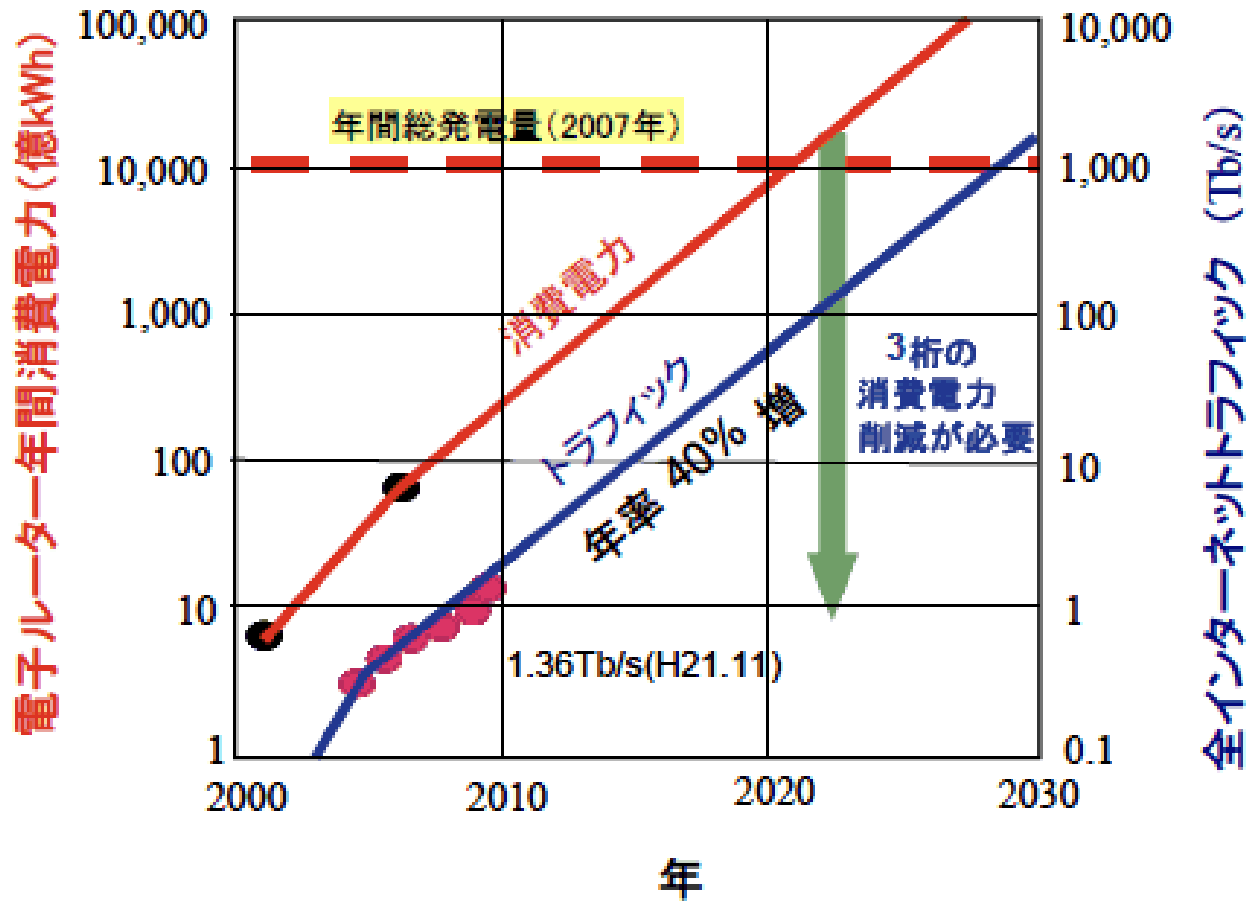
[http://www.ntt.co.jp/csr/2012report/ict\\_tech04.html](http://www.ntt.co.jp/csr/2012report/ict_tech04.html)

DC-DCコンバータの必要性増加

# 今後懸念される情報トラフィック増大による電力消費の増大



独立行政法人  
情報通信研究機構



<http://www.aist-victories.org/en/about/outline.html>

# なぜGaNは期待されるのか?

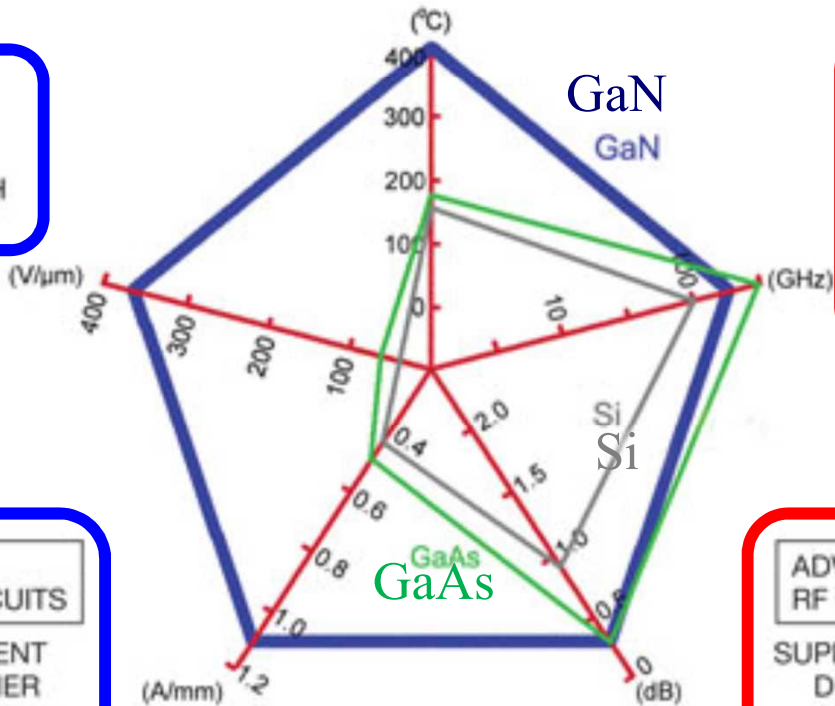
ADVANTAGEOUS IN POWER-SUPPLY CIRCUITS  
 HIGH OPERATING TEMPERATURE DUE TO LARGE BANDGAP AND HIGH POTENTIAL BARRIER

ADVANTAGEOUS IN POWER-SUPPLY CIRCUITS  
 HIGH BREAKDOWN STRENGTH DUE TO LARGE BANDGAP

ADVANTAGEOUS IN POWER-SUPPLY CIRCUITS  
 HIGH MAXIMUM CURRENT DUE TO HIGH CARRIER DENSITY AND HIGH ELECTRON MOBILITY

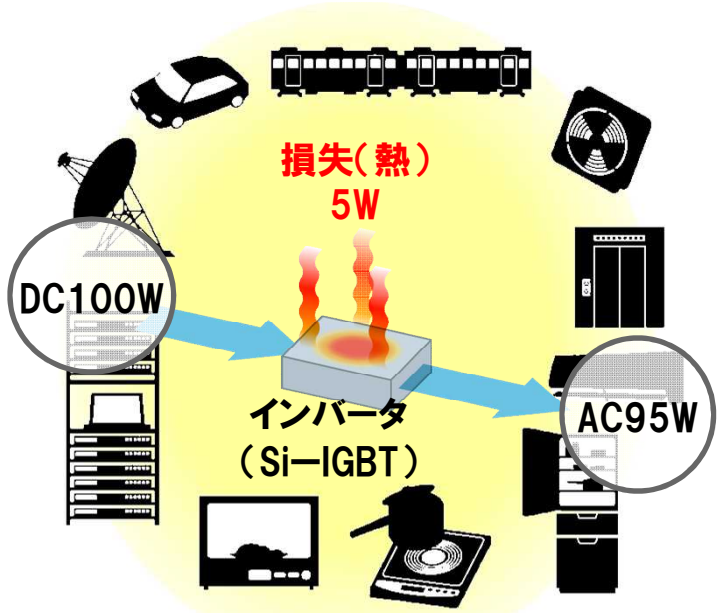
ADVANTAGEOUS IN RF CIRCUITS  
 HIGH MAXIMUM OSCILLATION FREQUENCY DUE TO HIGH ELECTRIC FIELD SATURATION SPEED AND LOW PARASITIC CAPACITY

ADVANTAGEOUS IN RF CIRCUITS  
 SUPERIOR NOISE FACTOR DUE TO LOW CARRIER SCATTERING AND LOW RF LOSSES

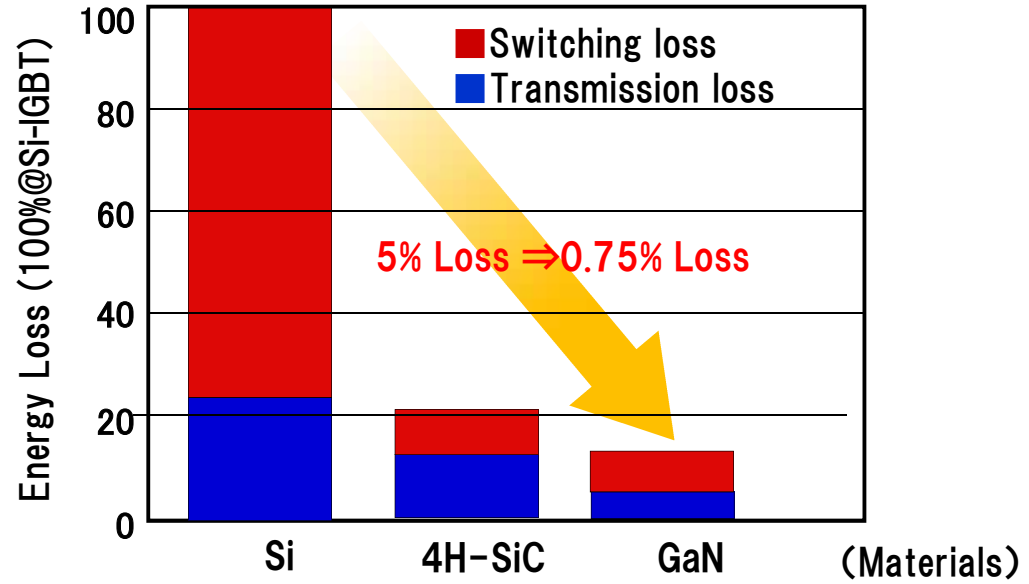


# GaNによる低損失システムの実現

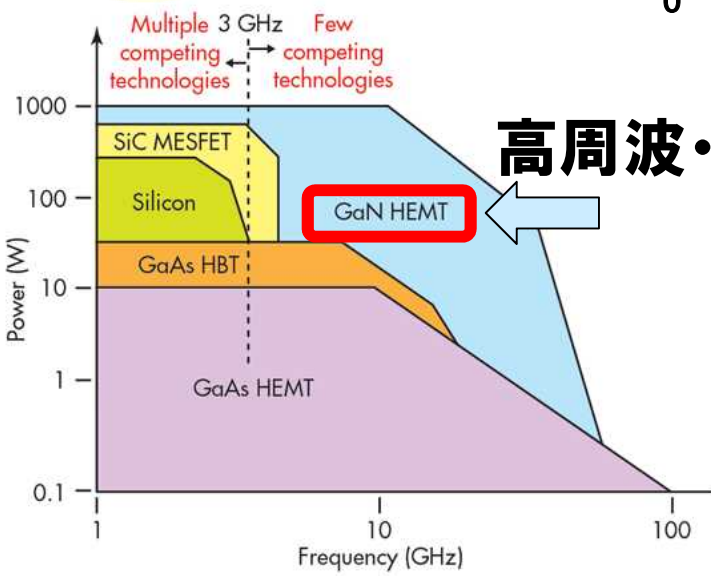
## パワーデバイスの役割



## GaNを用いることによる損失低減の効果



## パワー



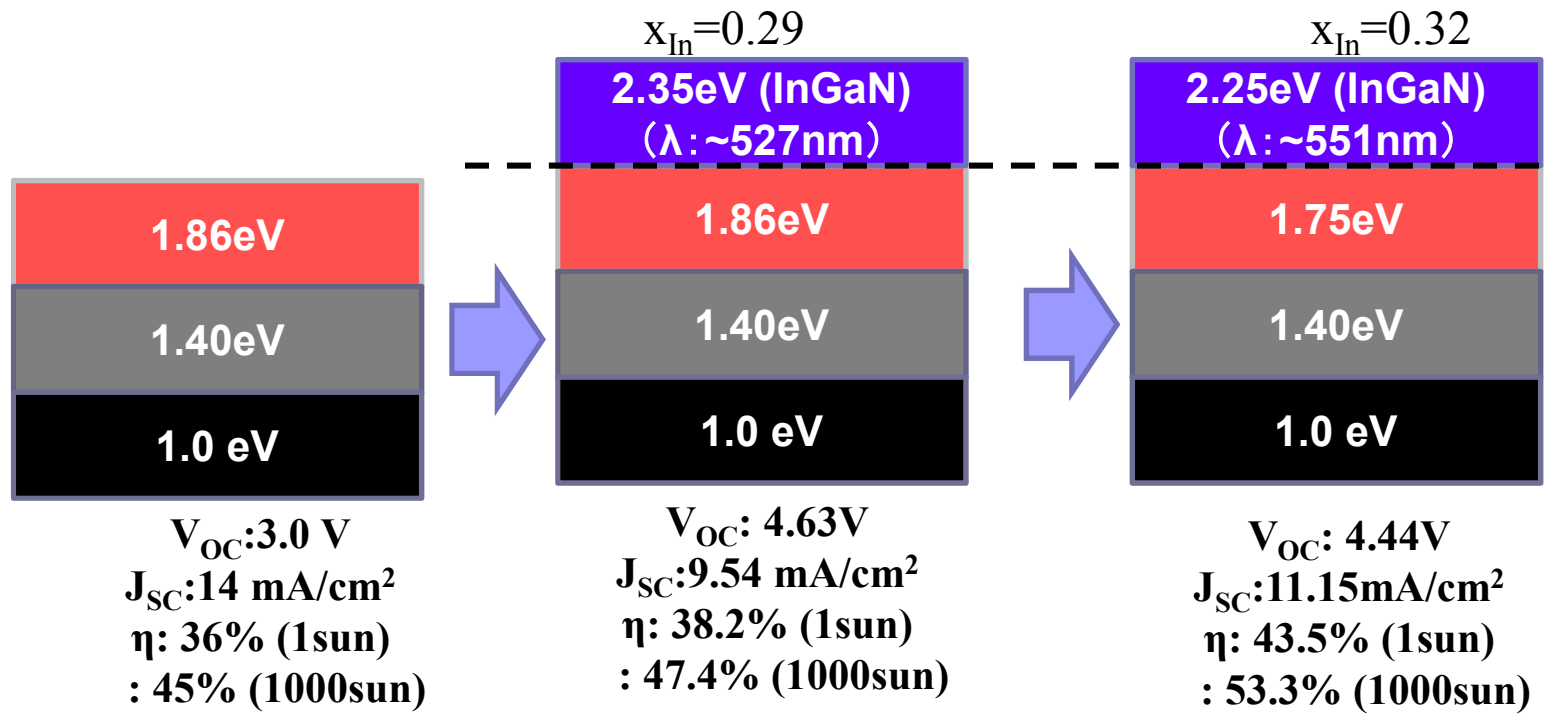
## 高周波・ハイパワーデバイスの低損失化

<http://electronicdesign.com/power/optimize-power-scheme-these-transient-times>

## 周波数



# GaNによる超高効率太陽電池の可能性



独立行政法人  
新エネルギー・産業技術総合開発機構

## ポストシリコン超高効率太陽電池

# 省エネルギーデバイス普及による世界貢献のために

