

再生可能エネルギーの経済合理性と新技術イノベーションによる カーボンニュートラル社会への貢献

2020年12月20日(日) 14:15-14:55@国立京都国際会館 会場さくら

名古屋大学 未来材料・システム研究所 (IMaSS)
未来エレクトロニクス集積研究センター (CIRFE)
センター長・教授
工学博士 天野 浩

省エネ技術は待ったなし!



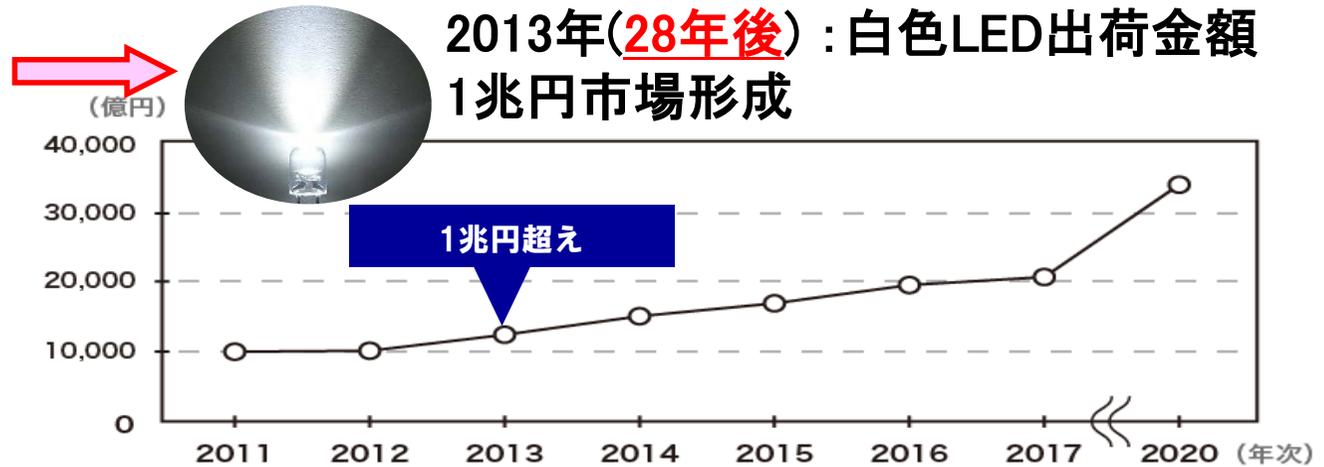
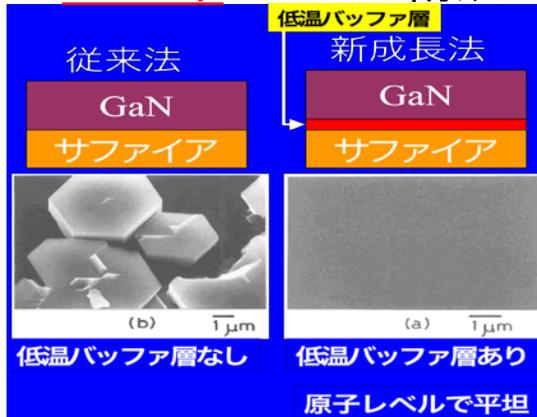
日本の照明LED化率 50%(2013)→70%(2020)

全発電量の約7%削減 (原子力発電所十数基分に相当)

(インフラを持たない)世界15億人を照らす

—ノーベル財団発表文より—

1985年: シーズ創成



2050年は今から30年後。今から準備しないと間に合いません!

2050年の日本

排出総量 $F = P \times \frac{G}{P} \times \frac{E}{G} \times \frac{F}{E}$

人口減 $\times 0.74$
 ↓
 P

一人当たり生産性 $\times 1.5$
 ↓
 $\frac{G}{P}$

製品効率 $\times 0.35$
 ↓
 $\frac{E}{G}$

一次エネルギー $\times 0.1$
 ↓
 $\frac{F}{E}$

= 0.04
森林等による吸収分

- F is global CO₂ emissions from human sources
- P is global population
- G is world GDP
- E is global energy consumption
- G/P is the GDP per capita
- E/G is the energy intensity of the GDP
- F/E is the carbon footprint of energy

Y. Kaya and K. Yokobori, *Environment, Energy, and Economy: strategies for sustainability*
 United Nations University Press
 The United Nations University, 1997



Professor Yoichi Kaya
 © 2019 Club of Rome

これまでの最大の問題は経済合理性の議論をしていないこと

まだまだ高い再エネのコスト

(万円/kW)

35.0

30.0

25.0

20.0

15.0

10.0

5.0

0.0

28.9万円/kW

14.8万円/kW

14.1万円/kW

15.5万円/kW

7万円/kW

8.5万円/kW

日本 (2016年)

欧州 (2014年)



経済産業省
資源エネルギー庁
Agency for Natural Resources and Energy

- 工事費・架台・BOS
- モジュール・PCS

※日本はFIT年報データ、欧州はJRC PV Status Reportより資源エネルギー庁作成

[2017-09-14 再エネのコストを考える | 広報特集 | 資源エネルギー庁 \(meti.go.jp\)](#)

欧州と比べて高いのはわかりますが、経済合理性に関しては言及しておられません。

脱炭素社会2050年までのシナリオ

【試算の仮定】

- ①再エネの電力量は、2050年(排出実質ゼロ)に向けて、太陽光、水力、風力、地熱、バイオマス、いずれも直線的に拡大の前提。
「太陽光45→500GW、水力23→45GW、風力11→100GW、地熱1→20GW、バイオマス4→30GW」をベースに試算。
(数値根拠は 電子情報通信学会2020年10月号p1016「WPTシステム実現のための高周波GaNパワーデバイス」)
- ②最も導入量の多い「太陽光発電」は、導入コストを5年ごとに見直した値で計上。
一方、「水力、風力、地熱、バイオマス」の導入コストは、単位電力当たりのコストとしてそれぞれ均一の値を用いて計上。
- ③排出量の10%分程度を担う「プラ対策」分は、2036年本格導入とし、導入10年目の2045年には10%削減相当に到達。その後2050年まで継続的に運用コスト計上。
- ④排出量の6%程度を担う「DACCS」は、2041年本格導入とし、導入8年目の2048年には6%削減相当に到達。(現時点で運用コストまでは試算に入れず。)
- ⑤再エネ活用に伴い、必須の蓄電システム整備費用を加算。ただし、EV普及に伴い、EVの蓄電池もシステム活用できると想定し、その分は相殺。
- ⑥再エネ導入拡大に伴い、輸入資源もおおよそ直線的に削減想定。ただし「プラ対策」に伴う輸入資源削減分も2036年以降加算。

【結果】

- ⑦資源輸入額は17兆円から逡減、資源輸入量も同様。
- ⑧最終的にCO₂の削減は、2050年で11.85億トンに到達。(排出実質ゼロ)
- ⑨資源輸入削減額から脱炭素コストを引いた額は、当初は赤字であるものの、2030年台に単年度では黒字に、2040年台からは累積でも黒字に。

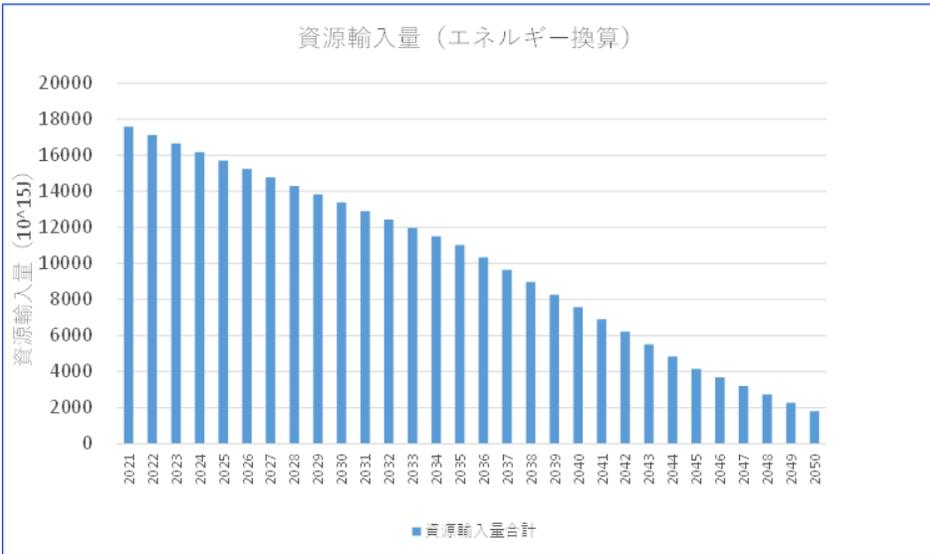
カーボンニュートラル実現のためのコスト

CO2削減寄与量		対策	内容	コスト (兆円)	備考
100%	80%	再生エネルギー拡大	太陽光パネル	42.47	45GW(2020)→500GW(2050) 想定
			水力	19.80	23GW(2020)→ 45GW(2050) 想定
			風力	26.70	11GW(2020)→100GW(2050) 想定
			地熱	28.50	1GW(2020)→ 20GW(2050) 想定
			バイオマス	15.60	4GW(2020)→ 30GW(2050) 想定
	10%	廃プラスチック削減	バイオプラ活用 リサイクル強化対策	7.35	100万t削減、バイオプラ化400万t リサイクル500万t
	6%	DACCS ※	二酸化炭素貯留・回収	2.25	2041年 本格稼働想定
	4%	自然吸収分			
			設備維持		11.16
		コスト合計 ①		153.83	
		蓄電システム整備 ②		20.78	再エネ有効活用のために700GWh整備想定
		EV活用による相殺分③		9.50	合計3200GWh想定、うち10%が寄与想定
		合計①+②-③		165.11	
		30年割り 平均コスト		5.50	
		日本GDP(年間)		550	
		日本GDP比率		1.0%	

※ (Direct Air Capture with Carbon Storage)

化石資源の輸入は大幅に削減(排出実質ゼロ)

資源輸入量(エネルギー換算)

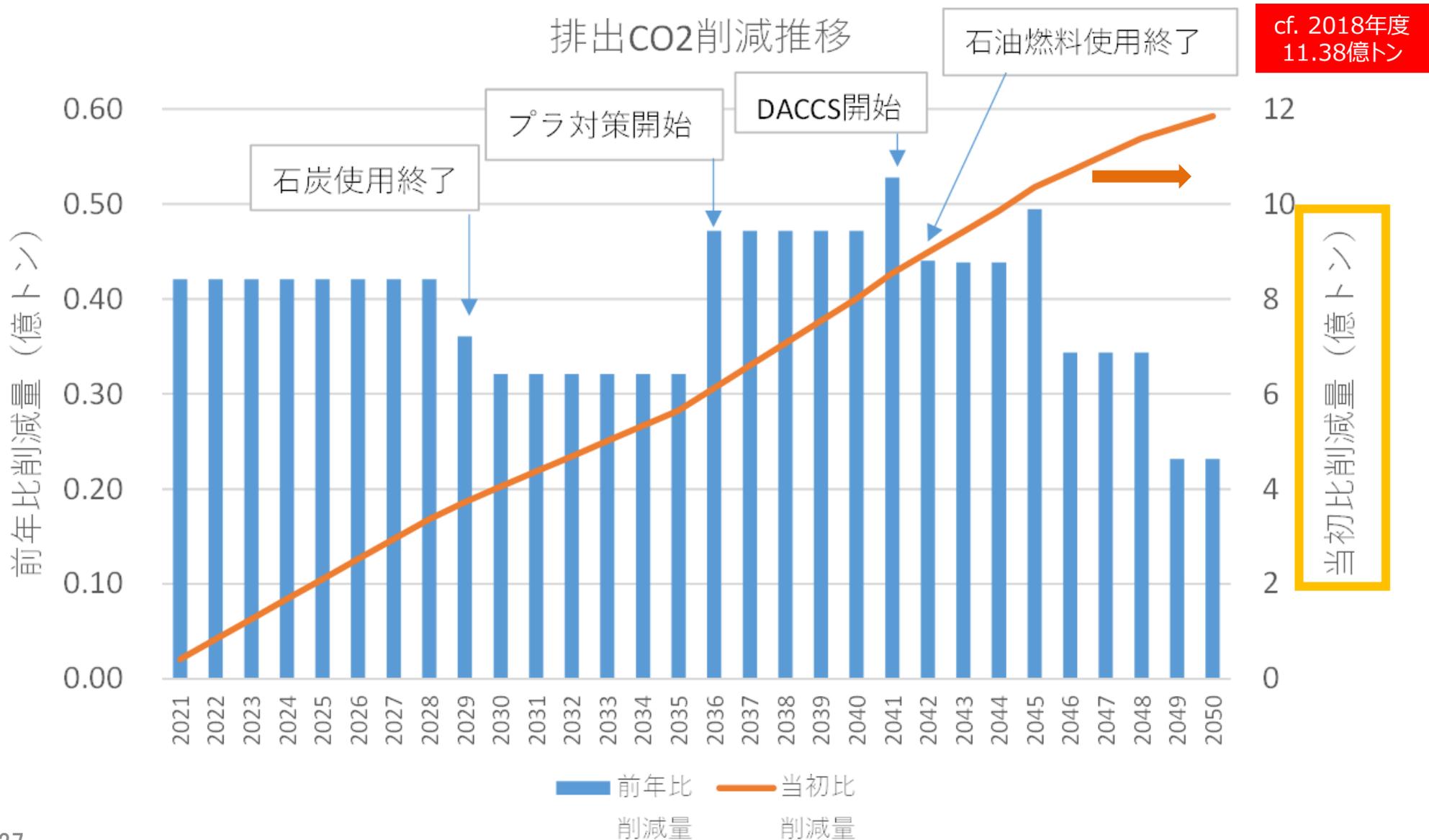


資源輸入削減額(黒字化の根拠)



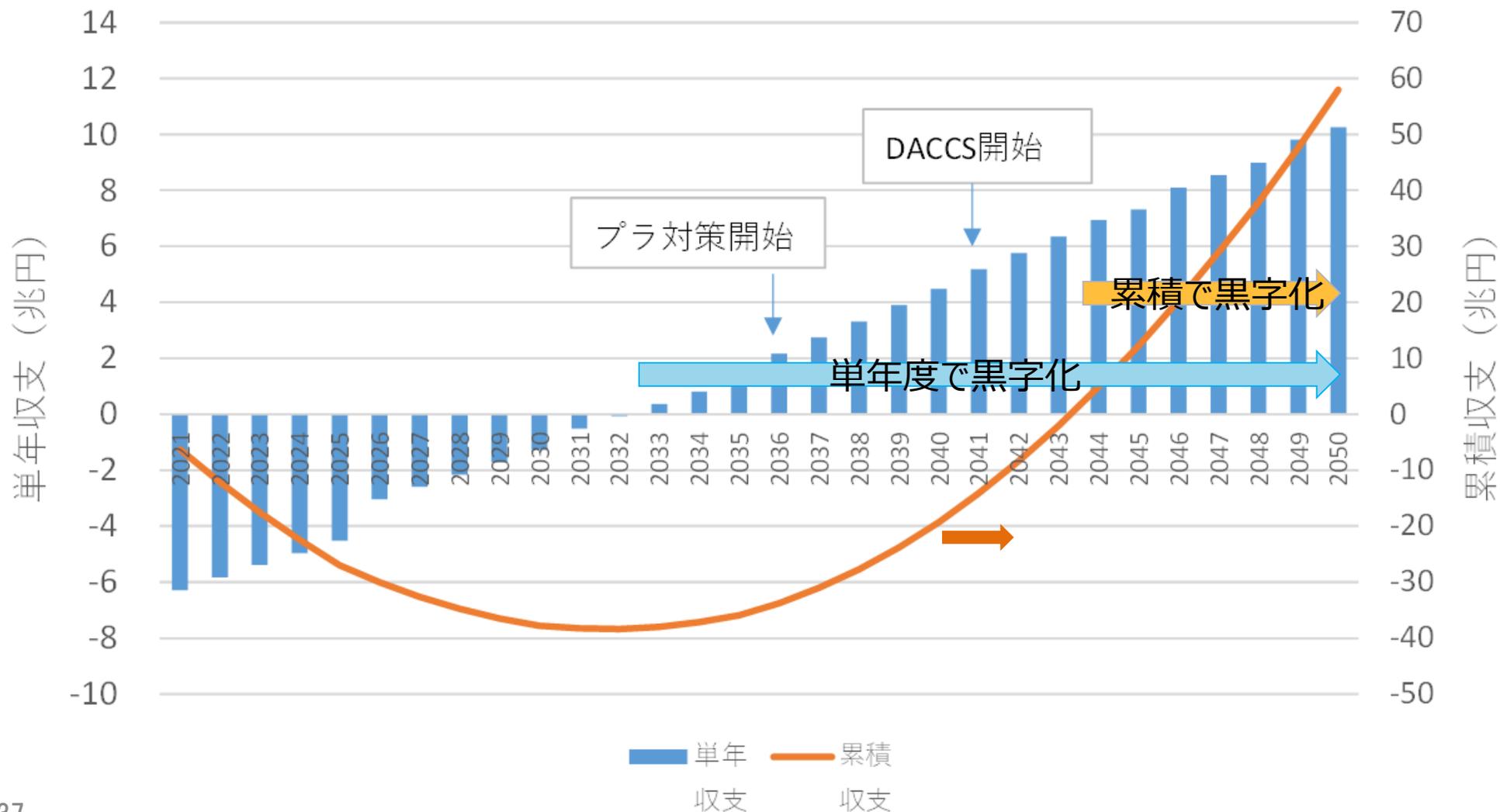
一次エネルギー輸入が減れば、エネルギーに必要なコストは削減する。

CO₂削減は2050年で11.85億トンに到達（排出実質ゼロ）



(資源輸入削減額)－(脱炭素コスト)は、当初は赤字
 2030年台初頭に単年度で黒字化 2040年台半ばからは累積でも黒字化

資源輸入削減額－脱炭素コスト額



カーボンニュートラル実現のカギ GaNを用いた新技術イノベーション



LEDからフライングカーへ

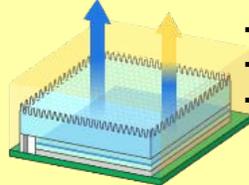


AM-CREATION Co. Ltd.
Professor Masayoshi Yamamoto
Nikkei BP

ライフスタイルの変革



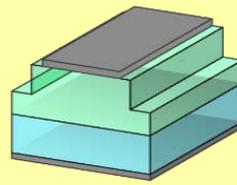
高効率光デバイス



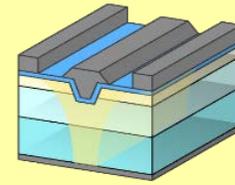
LED、レーザー

- ・各種照明
- ・ディスプレイ
- ・加工用レーザー

大電流・高耐圧パワーデバイス



ダイオード



トランジスタ

- 導入先
- ・自動車・電車
 - ・変電所
 - ・パワコン
 - ・業務用加熱装置
 - ・サーバー

名大担当分 電気自動車のエネルギー使用量65%削減

$$\frac{\text{Energy Consumption}}{\text{GDP}} = 0.35 \text{ 実現への道}$$

何故、電気自動車にトランジスタ?



<https://rarea.events/rarea/wp-content/uploads/2020/01/b1fe7c9e2320973bc9208b689a0f74f1-449x724.jpg>

勿論直流

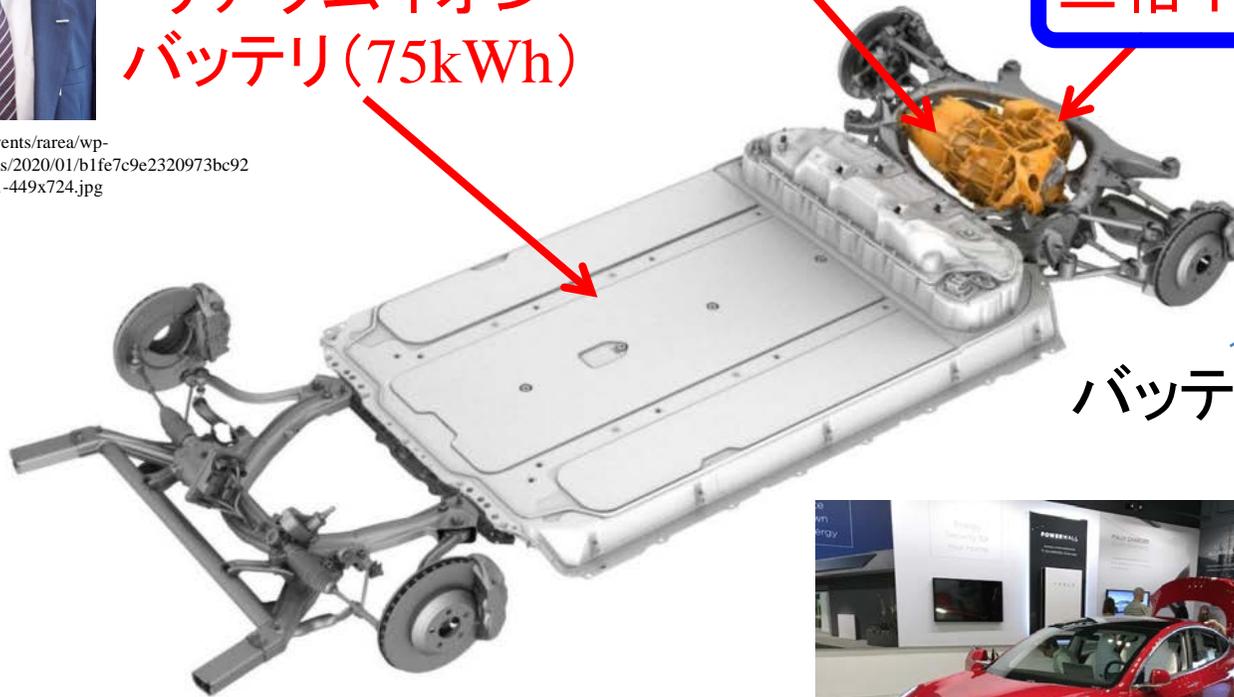
リチウムイオン
バッテリー(75kWh)

交流電動機

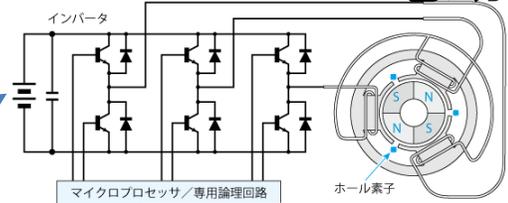
三相インバータ

三相インバータ

交流
電動機



バッテリー



https://www.nidec.com/jp/technology/motor/basic/00005/~media/nidec-com/technology/motor/basic/img/img_basic_00005_01.gif



テスラ モデル3(山本真義教授ご提供)

GaNインバータの省エネ効果 エネルギー使用量35%を実現！

トラクションインバータの損失比較

SI IGBTは12KHzまで



100%-65%
=35% 実現！



小型・軽量化

テスラはアメリカ車

テスラモデルS
IGBTインバータ 24.9kg、8,442cm³

テスラモデル3
SiCインバータ 3.9kg、4,590cm³

重量約1/6、容積約半分

モデル3インバータ



2019年10月23日
東京モーターショー

環境省: 未来のあるべき社会・ライフスタイルを創造する技術イノベーション事業 高品質 GaN基板を用いた超高効率GaNパワー・光デバイスの技術開発とその実証

GaNなら日本地図でインバータできます！

AGV(All GaN Vehicle)
GaNインバータ <2kg、<2,000cm³

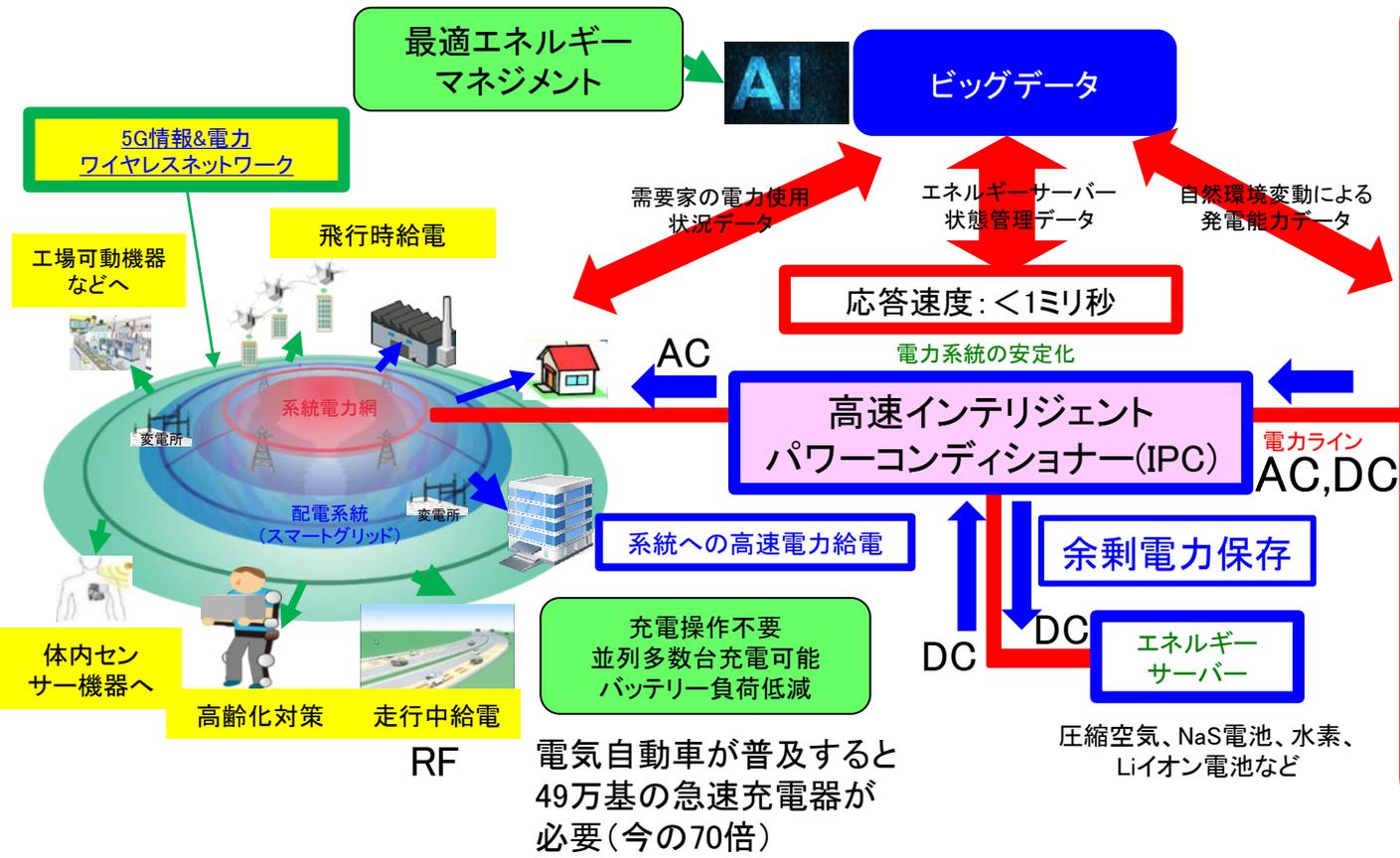
GaNでさらに半分！



名大担当分 化石燃料割合10%実現に向けて

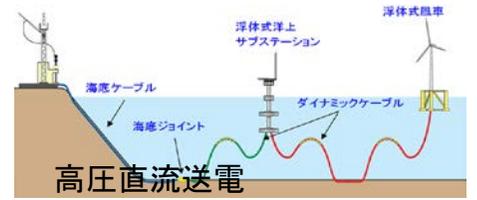
$$\frac{\text{CO2 emission from human sources}}{\text{Energy Consumption}} = 0.1 \text{ 実現への道}$$

再生可能エネルギー割合増大のための基幹技術 IPC



これからの再生可能エネルギー

https://www.furukawa.co.jp/release/2019/qdgd22000001q9bs-img/ene_190604_fig01.gif



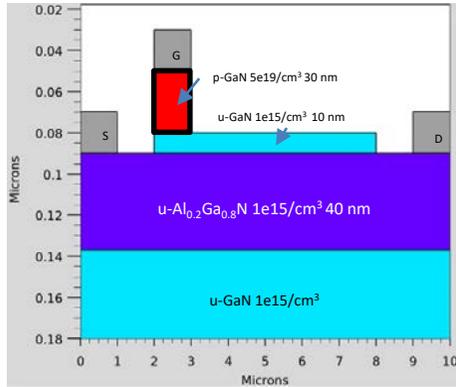
可動式洋上太陽光発電
* 環境保全 * 土地要らず

<https://gigazine.net/news/20170527-china-floating-solar-power-plant/>

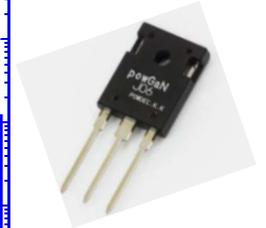
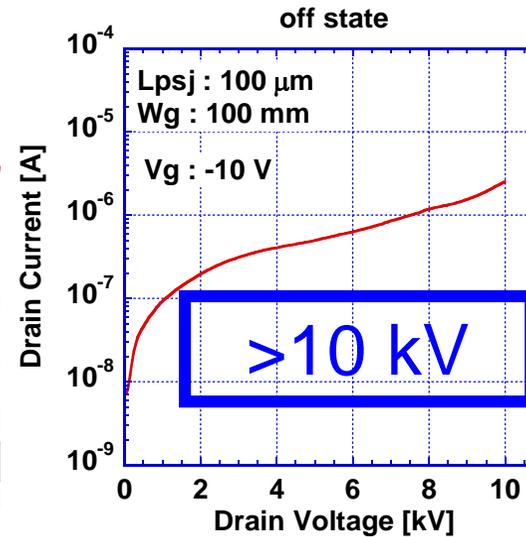
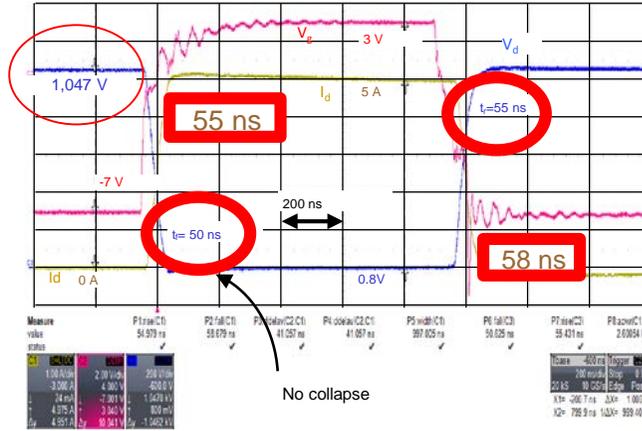
圧縮空気、NaS電池、水素、
Liイオン電池など

高速スイッチング可能なGaNパワーデバイス

応答速度: <1マイクロ秒



Polarization Super-Junction HEMT



- * LEDの余剰設備がそのまま使えて低コスト
→SiCや酸化ガリウムよりも格段に安く作れます。
- * 超高速・高耐圧

再生可能エネルギーは手放しで歓迎か？

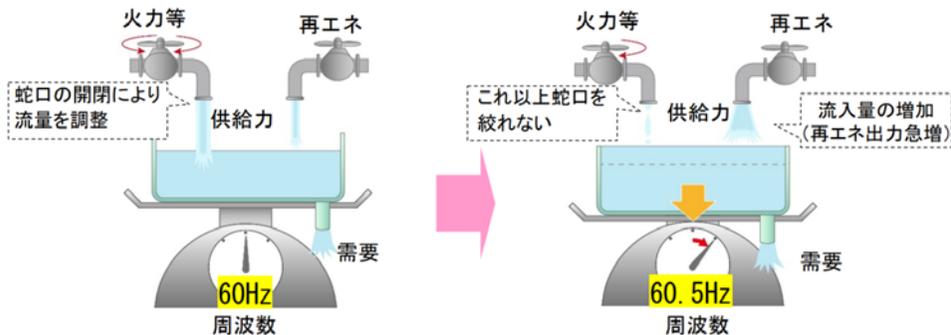
実は、再生可能エネルギーは電力会社には厄介者！

再生可能エネルギーは厄介者 発電と受電のバランス

- 電力は **発電する電力(供給) = 使う電力(需要)** が、常に成立しなければならない。

〔流入量（供給） = 流出量（需要）の場合〕

〔流入量（供給） > 流出量（需要）の場合〕



**需要と供給のバランスが崩れると
周波数 (60Hz) が変動**

- 再生可能エネルギーの出力の変動に対して、火力発電機などの発電量を調整
- 供給（発電）と需要（消費）のバランスが崩れると、周波数が変動し、発電所が停止
- 複数の発電所が連鎖的に停止し、大規模な停電となる恐れ。

九州電力:九州本土における再生可能エネルギーの出力制御について
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shin_ene/shin_energy/keito_wg/pdf/017_s01_00.pdf

需要が減ると
需要が増えると

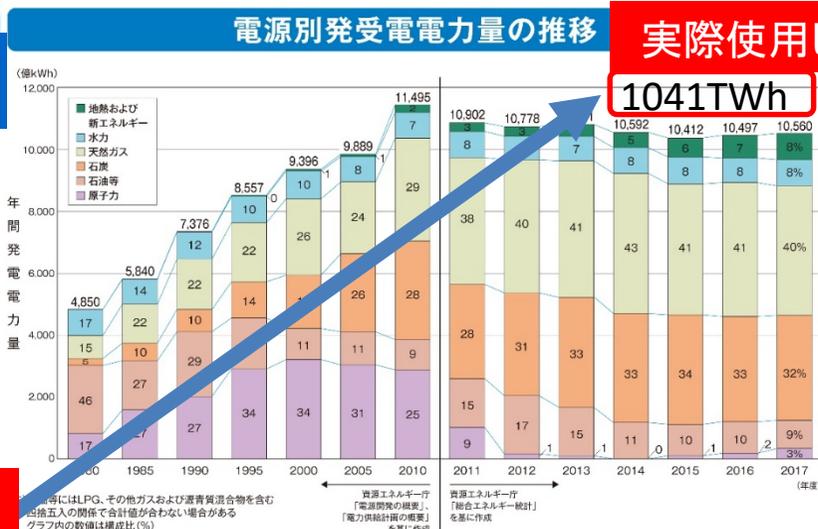
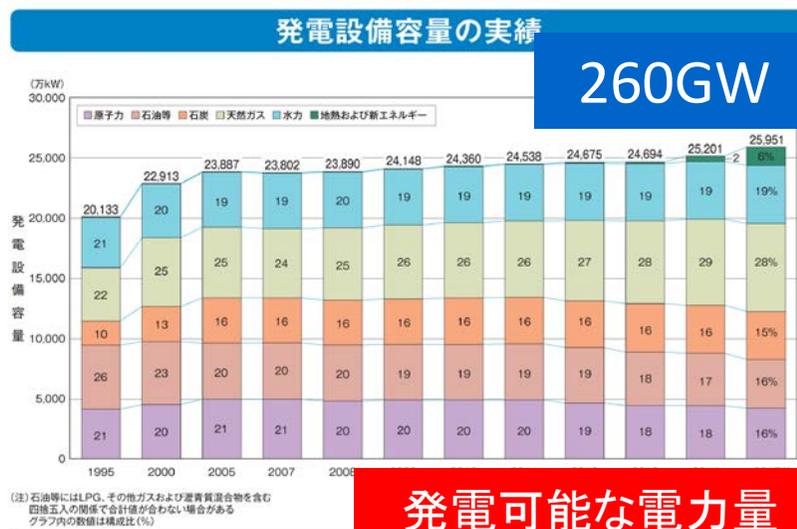
発電機のトルクが減って回しすぎてしまう = 周波数が上昇する
発電機のトルクが増える = 周波数が下降する



近畿大学オープンキャンパス資料

<https://image.slidesharecdn.com/random-150220182216-conversion-gate01/95/-14-638.jpg?cb=1424456564>

どれくらい余分に発電設備を準備しているか?



実際使用した電力量

発電可能な電力量

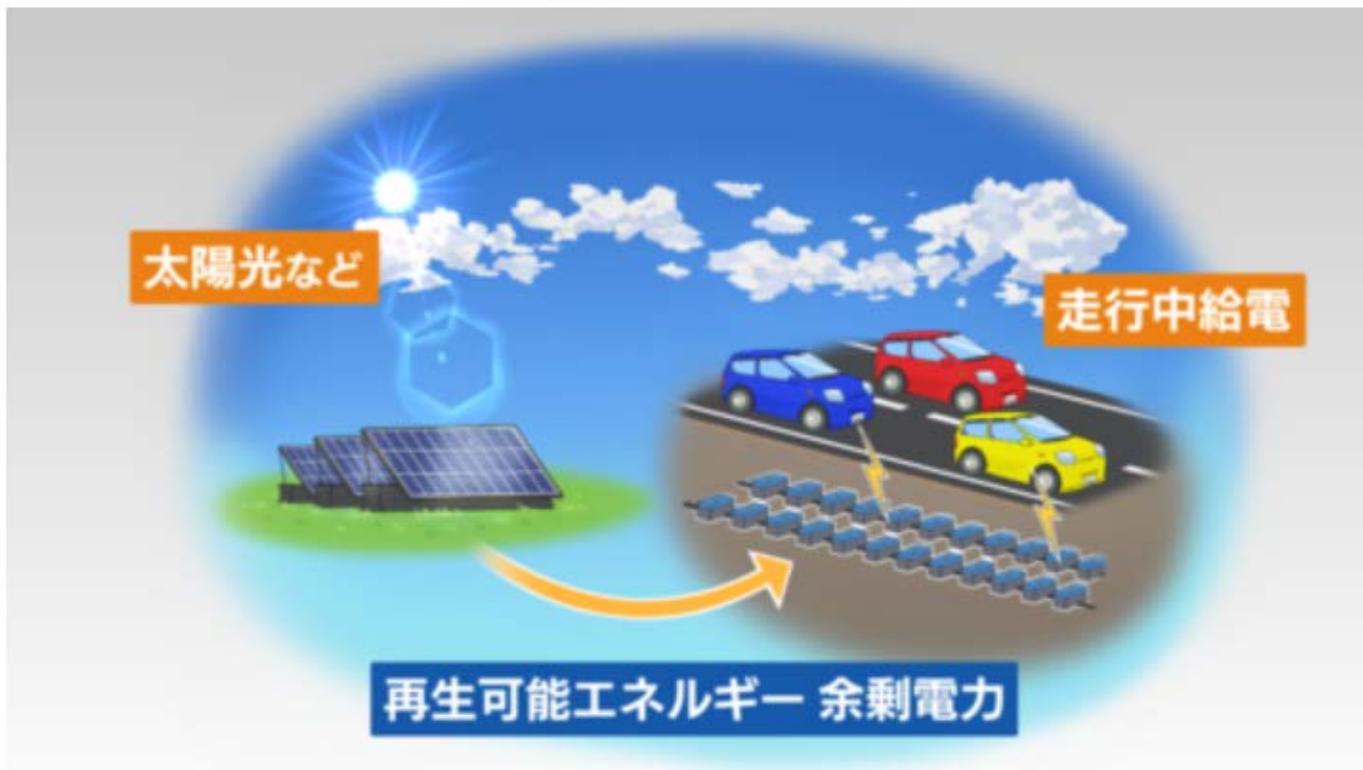
$260\text{GW} \times 24\text{時間} \times 365\text{日} = 2280\text{TWh}$

<https://www.fepec.or.jp/smp/nuclear/state/setsubi/index.html>

必要電力量の倍以上の設備容量が必要
→ということで蓄電池となりますが...

真夏でも発電を無駄にしたいために...
蓄電池以外の方法もあります。

真夏の発電電力は走行中の電気自動車へ Wireless Power Transmission: WPT



NHK : 視点・論点

「無線」で電力が送れると何が良い？

スマホ充電の心配がなくなる。



飛行中のドローンに電力を送ることができる。

走行中の電気自動車に電力を送ることができる。

身体の中のセンサーやポンプに外部から電力を送ることができる。

出典：
総務省 ワイヤレス分野の技術
ロードマップ 令和2年1月

電通省2020年総務省報告書(2016年7月)及び情報通信審議会情報通信技術分科会地上無線通信委員会
空間伝送型ワイヤレス電力伝送システム構築案(資料1-5-1)(2019年2月)を基にサイバー空間にて作成

2050年の電力構成予測(名大)

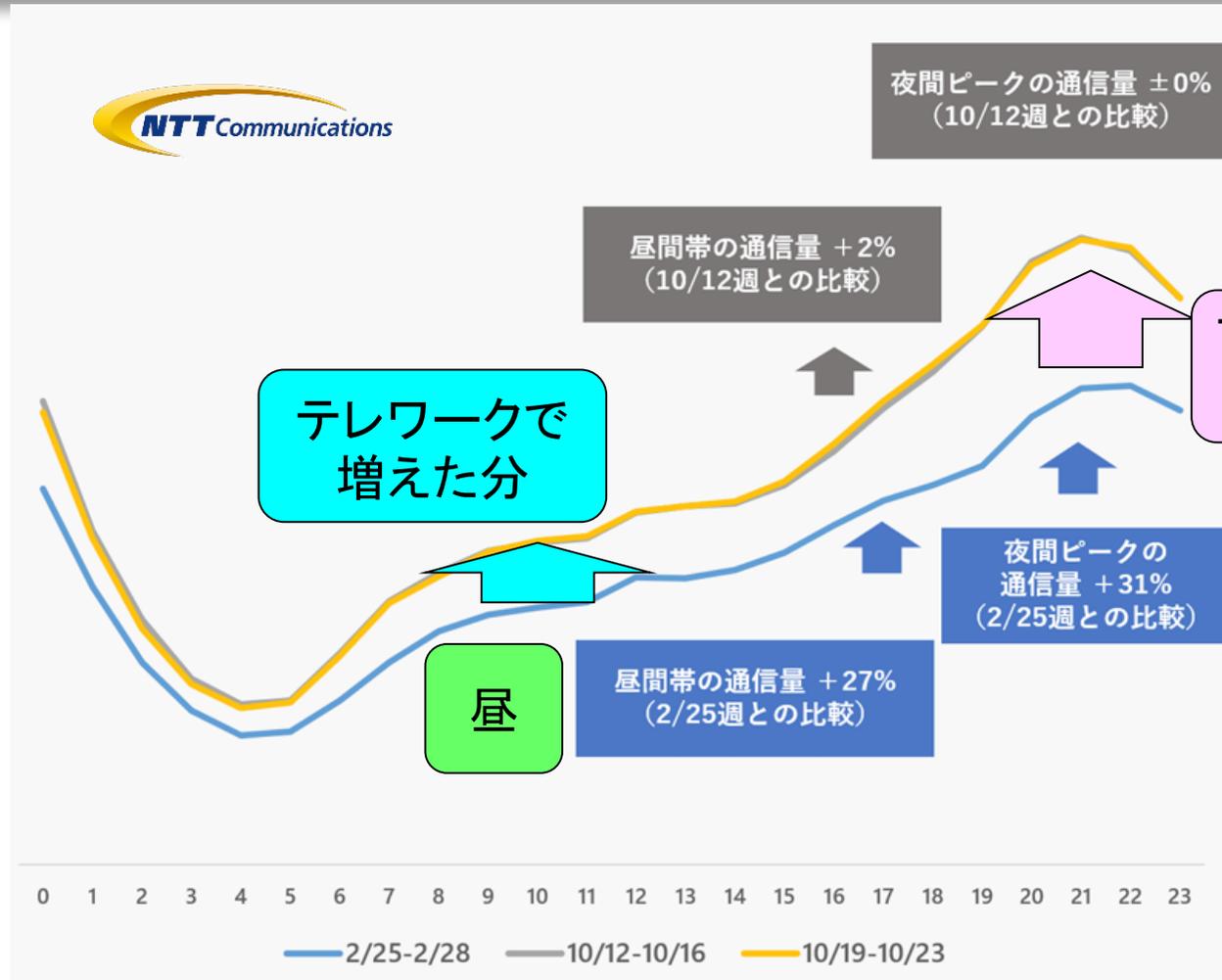
発電分	現状		2050		参考文献、算出根拠
	最大出力 [GW]	(年間) 発電量 [TWh]	最大出力 [GW]	(年間) 発電量 [TWh]	
太陽光	45	45	500	500 [1]	
水力	23	94	45	220 [2] (最大出力見込値×約1.3倍と仮定)	
風力	11	23	100	280 [3] (最大出力見込値×約1.3倍と仮定)	
地熱	1	3	20	150 [4, 5] (最大出力見込値×約2倍と仮定)	
バイオマス	4	2	30	220 [6] (最大出力見込値×約2倍と仮定)	
新電源 (海洋・水素・太陽熱など)			10	30 (新規計上、期待値)	
合計	84	167	705	1400	
調整分	現状		2050		参考文献、算出根拠
揚水	電力 [GW]	(年間) 電力消費量 [TWh]	電力 [GW]	(年間) 電力消費量 [TWh]	
揚水	6	2	180	270 [7] (5時間稼働/日で換算)	
ヒートポンプ			25	46 [8, 9] 2500万台普及と仮定 (5H/日)	
走行中給電			36	66 走行車の25%に100kW給電 (5H/日)	
駐車中給電			71	130 駐車車両の30%に20kW給電 (5H/日)	
ドローン給電			58	106 (5H/日)	
電力用蓄電システム			45	104	
家庭用蓄電システム			8	13 [10] より、2050年設置台数250万台と予測	
企業・事業所等用蓄電システム			40	65 [11] 家庭用：企業・事業用=1:5より (5H/日)	
合計	6		463	799	

調整分の37%
はWPT

電子情報通信学会
2020年10月号
「WPTシステム実現のための
高周波GaNパワーデバイス」

新型コロナで気が付いたこと

一日の通信量の推移



人は仕事では省エネしますが、趣味や嗜好には省エネしません!

Beyond5Gは超高速かつ超省エネ型が必須!

時空間同期
(サイバースペースを含む)

※ 緑字は、我が国が強みを持つ又は積極的に取り組んでいるものが含まれる分野の例

テラヘルツ波

センシング

Beyond 5G

超高速・大容量

- アクセス通信速度は**5Gの10倍**
- コア通信速度は**現在の100倍**

超低遅延

- 5Gの**1/10の低遅延**
- CPSの高精度な同期の実現
- 補完ネットワークとの高度同期

超多数同時接続

- 多数同時接続数は**5Gの10倍**

オール光ネットワーク

5Gの特徴的機能の更なる高度化

高速・大容量

低遅延

多数同時接続

5G

持続可能で新たな価値の創造に
資する機能の付加

超低消費電力

- 現在の**1/100の電力消費**
- 対策を講じなければ現在のIT関連消費電力が約36倍に(現在の総消費電力の1.5倍)

低消費電力半導体

超安全・信頼性

- セキュリティの常時確保
- 災害や障害からの瞬時復旧

量子暗号

自律性

- ゼロタッチで機器が自律的に連携
- 有線・無線を超えた最適なネットワークの構築

完全仮想化

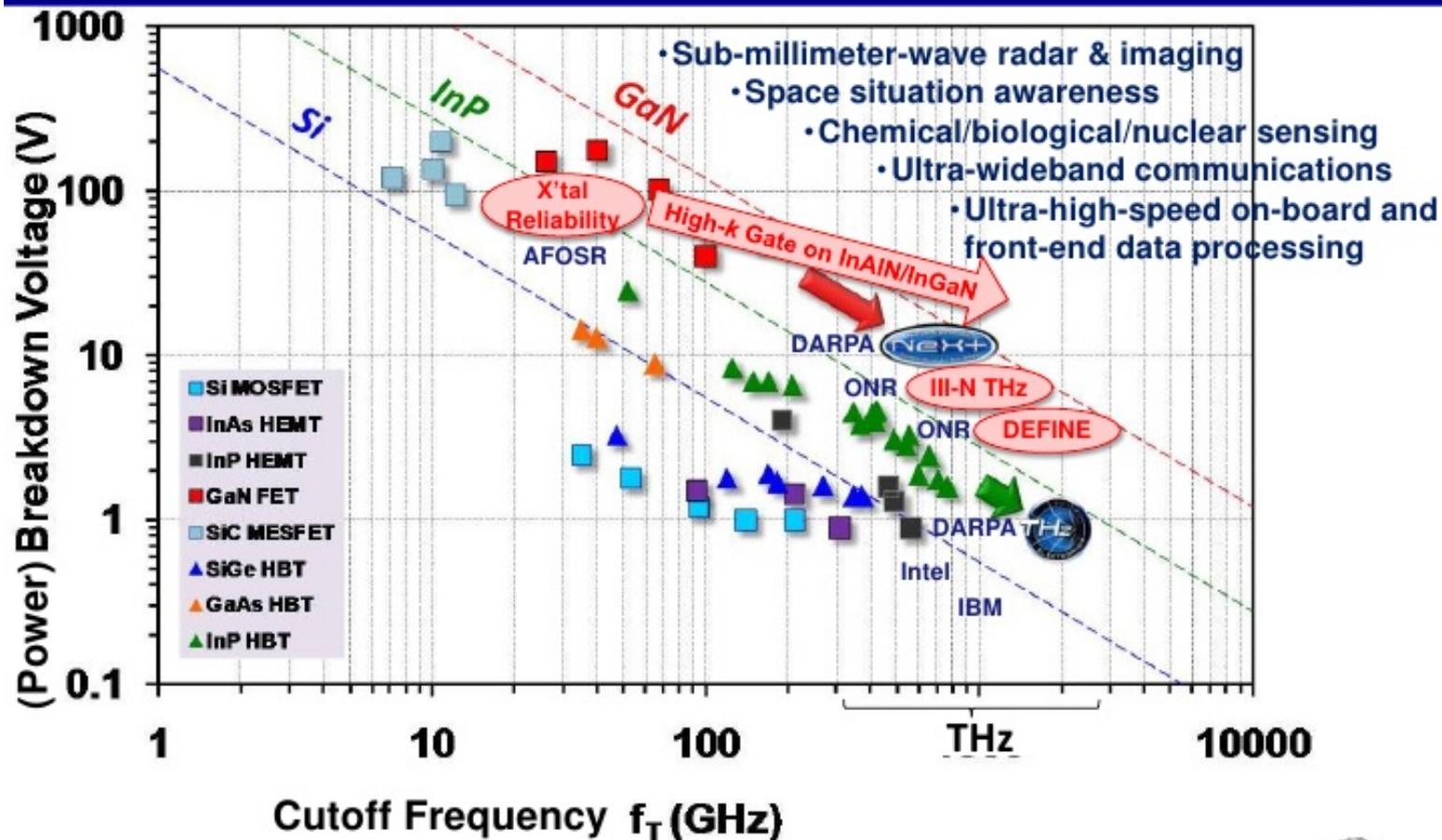
拡張性

- 衛星やHAPSとのシームレスな接続(宇宙・海洋を含む)
- 端末や窓など様々なものを基地局化
- 機器の相互連携によるあらゆる場所での通信

HAPS活用

インクルーシブインターフェース

超高周波 ミリ波・テラヘルツ波の切り札 GaN



GaNの社会実装ロードマップ

・持続可能(Sustainable)社会

・快適(Smart)社会

・安心・安全(Safe and Secure)社会

無競争領域 GaNのみ実現可能

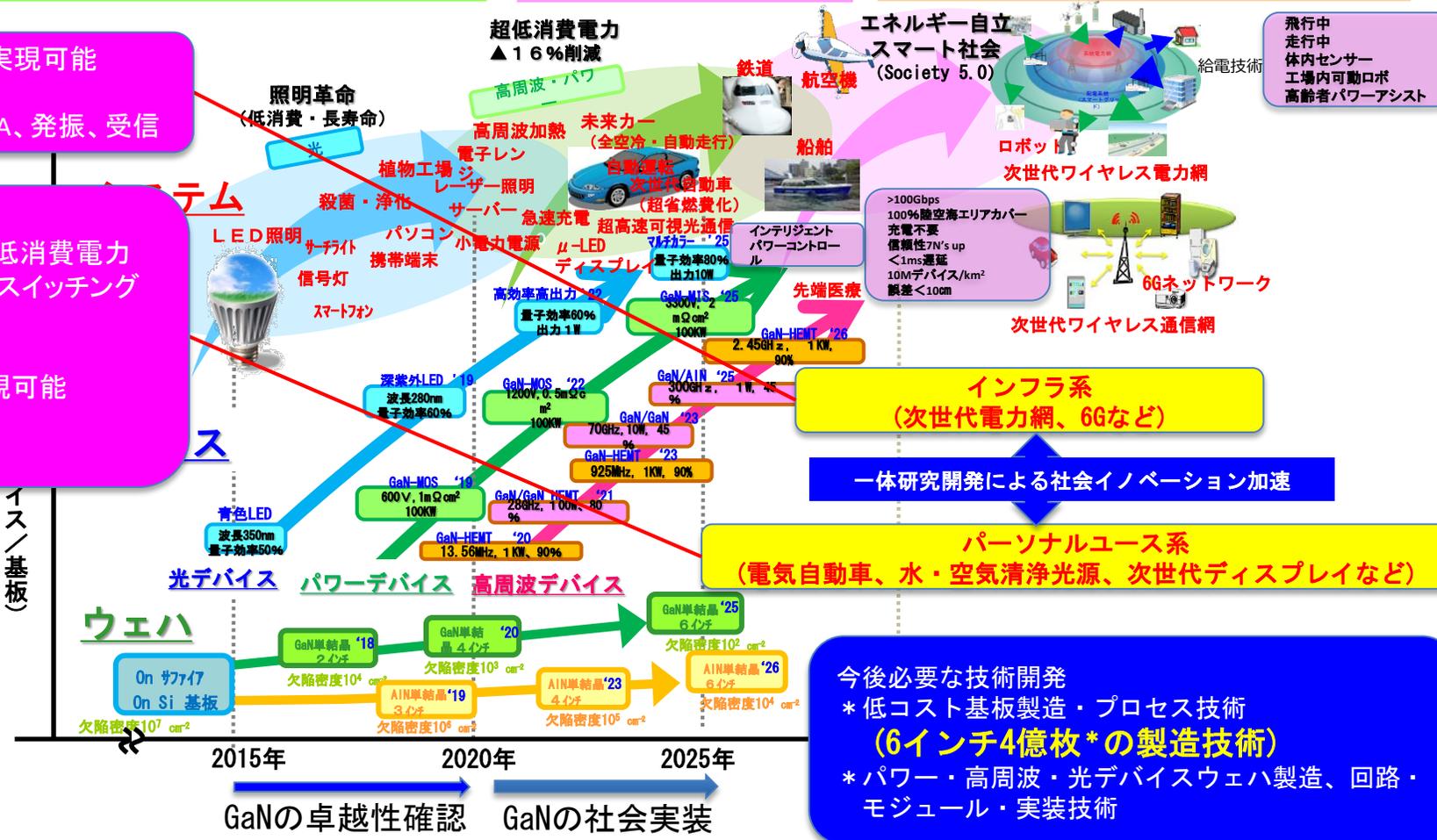
- * 10KV、nsスイッチング
- * 高出力マイクロ波~THz波PA、発振、受信

競争領域 対Si、対SiC

- * Si IGBTと比べて圧倒的な低消費電力
- * SiC MOSFETと比べて高速スイッチングによる小型・軽量化

無競争領域 GaNのみ実現可能

- * 深紫外発光素子
- * AR VR ディスプレイ



今後必要な技術開発
 * 低コスト基板製造・プロセス技術
(6インチ4億枚*の製造技術)
 * パワー・高周波・光デバイスウェハ製造、回路・モジュール・実装技術

* デバイス寿命100,000時間と仮定

名古屋大学の取り組み

※ GaN基板上に作製したGaNデバイス
世界唯一のGaN専用研究施設※！



C-TEFs
CIRFE Transformative Electronics Facilities
エネルギー変換エレクトロニクス実験施設
(GaN研究開発クリーンルーム)

C-TECs
CIRFE Transformative Electronics Commons
エネルギー変換エレクトロニクス研究館
(産学官共創研究棟)



C-TEFsがこれまでの大学と異なる点 基板からシステムまで一貫R&D



Water purification



AR display



Power assist robot for elder person



Mobilities in the next generation



Internet of Energy



5G and Beyond 5G for Internet of Things

C-TEFs

C-TECs



45企業
21大学
2国立研究開発法人

C-TEFs: Center for Integrated Research of Future Electronics
Transformative Electronics Facilities

C-TEFs エネルギー変換エレクトロニクス実験施設

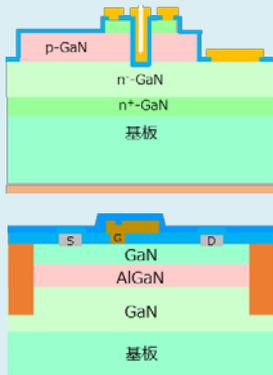


1000平米の大面積本格クリーンルーム

- 最新の結晶成長装置、評価分析装置、デバイス作製装置を集積
- 専任の技術者(CR経験者)による企業研究所レベルの設備運用
- 名大で開発した技術・ノウハウを活用できるデバイス製造メニュー

新しい研究展開の基礎研究、死の谷を克服する産学共創研究、
企業の本格的なGaNデバイスの開発の場として活用

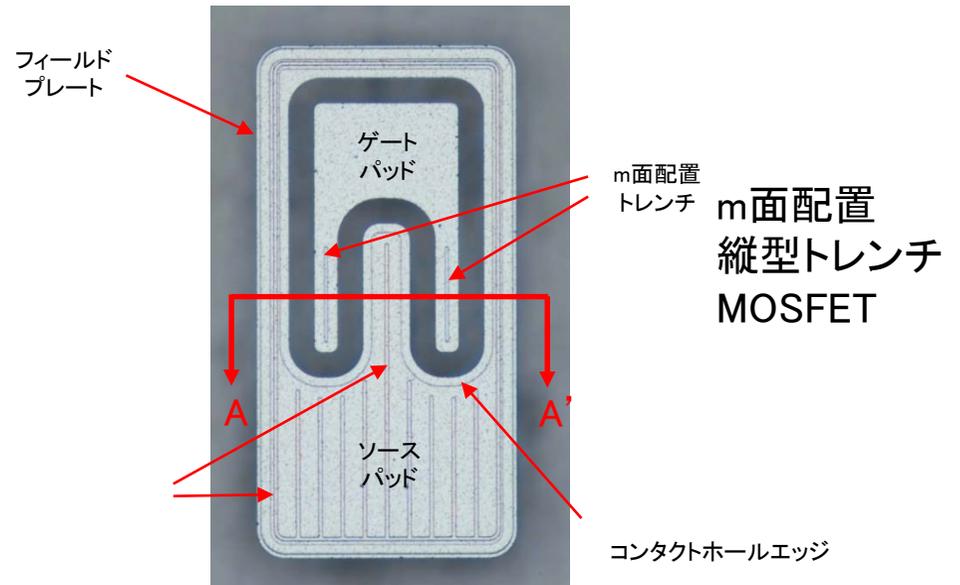
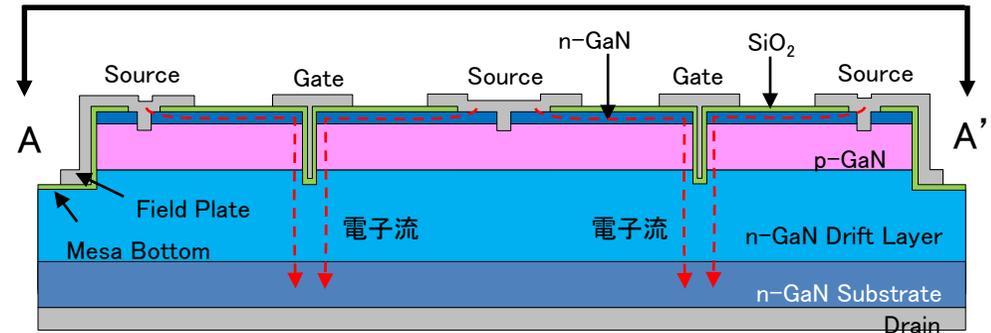
縦型および横型GaN on GaNデバイス試作ライン



標準デバイス試作例

- ・縦型GaNパワーデバイス
(UMOS vertical Tr with FP termination)
- ・横型GaN高電子移動度トランジスタ
(HEMT with Boron I/I isolation)
- ・GaNレーザー
(Ridge waveguide LD)

GaNデバイスの社会実装の加速、
死の谷を克服するための産学共創研究、
企業の本格的GaNデバイス開発の第一ステップ



GaNの社会実装体制

名古屋大学
(基盤技術)

GaNコンソーシアム
(応用技術)

産業界
(社会実装)

未来材料・システム研究所
未来エレクトロニクス集積研究センター
(CIRFE)



高性能パワーエレクトロニクスによる
カーボンニュートラル社会の実現

電力・エネルギー/情報通信
自動車・運輸/産業機器・システム
材料・デバイス



<https://www.mitsubishielectric.co.jp/semiconductors/products/hf/gantransistor/index.html>

GaN電子デバイス



空気除菌消臭装置
<https://www.nikkiso.co.jp/products/medical/aeropure.html>

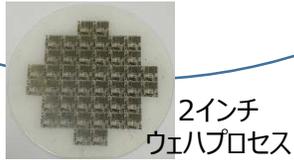
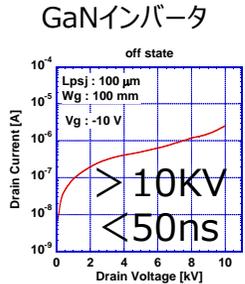
ギャップを埋める実用化技術の開発

投資

研究成果

ギャップ (死の谷)

普及・実用化
(産業)



GaNによるカーボンニュートラル実現シナリオ

生活環境のCO₂排出削減



2019年10月23日
東京モーターショー

モーター・産業機器・EVの
高効率化



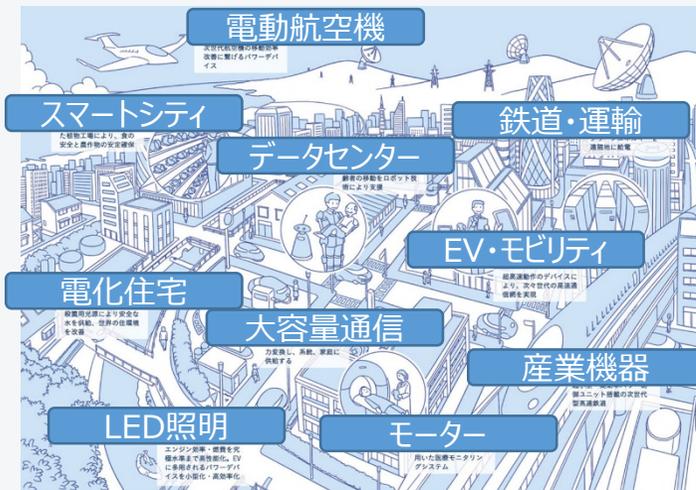
照明の低消費電力化・高寿命化

照明分野の
革新

光変換デバイスの低消費電力化
・白色LED照明・ヘッドライト

社会インフラのCO₂排出削減

高性能パワーエレクトロニクスの実装



生活環境の
革新

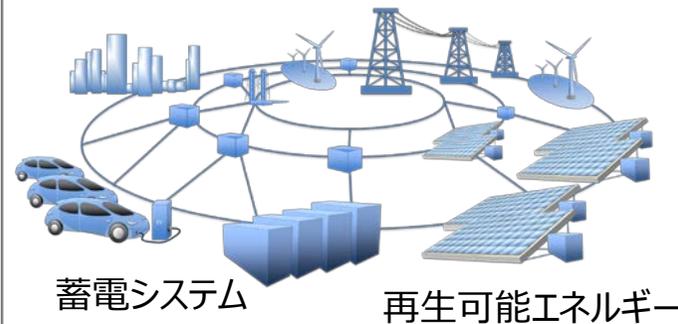
再生可能エネルギーの利用拡大
・インテリジェントパワーコントローラ

モビリティ・運輸
分野の革新

モビリティ機器、物流分野の電動化
・EV/電動航空機

カーボンニュートラルIoE社会

高性能パワーエレクトロニクスにより支えられる
再生可能エネルギーと蓄電による電力系統安定化



IoE構築
カーボンニュートラルの
実現

再生可能エネルギー多様化、大容量化
・発電システムネットワーク
・分散型蓄電システム
・高精度系統制御

2010年

2025年

2030年

2050年

人材育成にも力を入れております 5年一貫卓越大学院プログラム “DII”



社会的価値の創出を担う人
ビジネス起業者



Deployer

課題解決を担う人
プロダクト開発者



Innovator

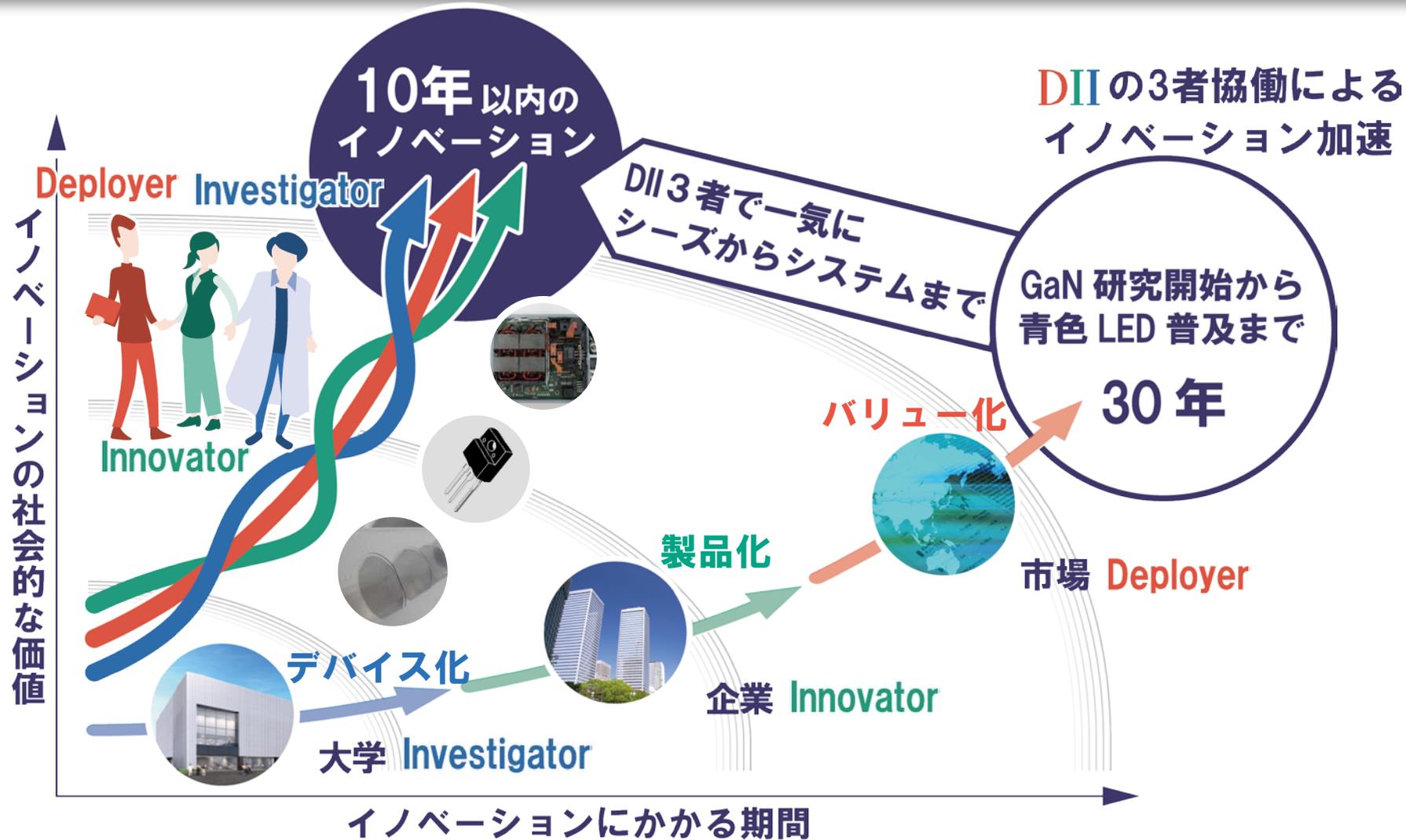
課題の理解・研究を担う人
シーズ創成者



Investigator

DIIでは、連携してイノベーションを起こす力をもつ3タイプの人を育てる

青色LEDで30年かかったイノベーションを10年以内にやり遂げる人材の育成



学外メンター30人による企業・社会の要求に直接答える人材育成システム



外部アドバイザーボード



D: Deployer
革新的プロダクトによる社会価値創出を着想・企画する人材

I: Innovator
シーズからプロダクトを見通し技術課題を解決し完遂する人材

I: Investigator
社会課題を理解し高い洞察力に基づき解決策を提案する独創的な人材

58名
名古屋大学

メンター (30名)

国内連携機関

<p>GaN consortium System</p>	Devices & Modules	Materlas & Epi.	National Research and Development Assocaiton	Entrepreneurial Support Companies
	Toshiba	SCIOCS	NIMS	Mirai Project
	Toyota	Toyoda Gosei	AIST	Nippon Venture Capital Co.
	Denso	Equipments & Sevices	JAXA	Kapion
	Nissan	Taiyo Nippon Sanso		オフィスエイトックス
Hitachi	Sumitomo Electric Industries	Toyota Central R&D Labs.		

最後に青色LED基金

ご支援のお願い

名古屋大学特定基金 青色LED・未来材料研究支援事業

寄附をする



- GaN研究の歴史とこれから
- 青色LED・未来材料研究支援事業について
- 天野先生ものがたり
- 寄附者への特典・顕彰制度
- 寄附者ご芳名一覧

ご支援のお願い

名古屋大学の天野です。日頃より本学の教育・研究にご支援を賜り、お礼申し上げます。

GaN（窒化ガリウム）の魅力にとりつかれた学生時代、私は恩師赤崎先生とともに、ただひたすら青色LEDの研究に没頭しました。

青色LEDの発明以来、その技術は多くの研究者らによって改良され、いまやLEDは様々なかたちで、世界中で利用されています。少ないエネルギーで明るく光るLED照明は省エネ効果も高く、その普及により2020年までに日本の総発電量の7%程度を削減できると試算されています。

GaNの可能性は、それにとどまりません。大きな電流をコントロールする「パワーデバイス」の材料として利用することで、さらに大幅にエネルギー効率を上げることができます。また、深紫外線LEDの応用も期待されています。



Facebook