福岡大学カーボンニュートラルセミナー説明資料

直流給電と半導体

2022年10月6日
福岡大学　半導体実装研究所　所長
兼
（公財）福岡県産業・科学技術振興財団　三次元半導体研究センター　センター長
末次正

公益財団法人　福岡県産業・科学技術振興財団
三次元半導体研究センター

人をつくり、時代を拓く。
福岡大学
半導体実装研究所

半導体実装研究所の紹介

半導体実装研究所の紹介
位置

九大伊都
キャンパス

ふくおかIST
ﾛﾎﾞｯﾄ･ｼｽﾃﾑ
開発センター

福岡大学
キャンパス

三次元半導体研究センター
（糸島リサーチパーク内）
福岡大学半導体実装研究所

三次元半導体研究センター：
シリコンシーベルト福岡構想の一環として2011年3月に開所

福岡地域：
福岡システムLSI
総合開発センター

北九州地域：
北九州学術研究都市
産学連携センター

人材育成・設計

先端半導体に関する設計、開発、
実装、実証試験、サービス提供試験を
行える一連のインフラが整備され、

飯塚地域：
九州工業大学マイクロ化
総合技術センター

実　装

三次元半導体研究センター

実証・製品化支援

社会システム実証センター

福岡県の半導体開発総合支援体制

三次元半導体研究センター(半導体実装研究所)
愛称：C-SIPOS

- 部品内蔵基板を中心として3次元実装の設計、試作、評価、試験が量産レベルで実施できる世界で唯一の研究センターとして、2011年3月に完成（3300m^2 2階建、1階がファブ）。
- 研究センター内に福岡大学半導体実装研究所を設置。コンソーシアムを形成し、研究活動を実施中。
- 設計フォーマット、信頼性試験方法などの世界標準を発信できる拠点。
- 先端の部品内蔵基板試作ライン完備、8インチの評価用TEGウェハ製造ライン保有（企業様の設備の有償利用）
- 落下衝撃試験・振動熱サイクル試験
  ・HAST試験など信頼性評価装置保有
  ・高速伝送特性評価装置保有
- 新規実装プロセスを開発できる「実装拠点」

建物内の配置

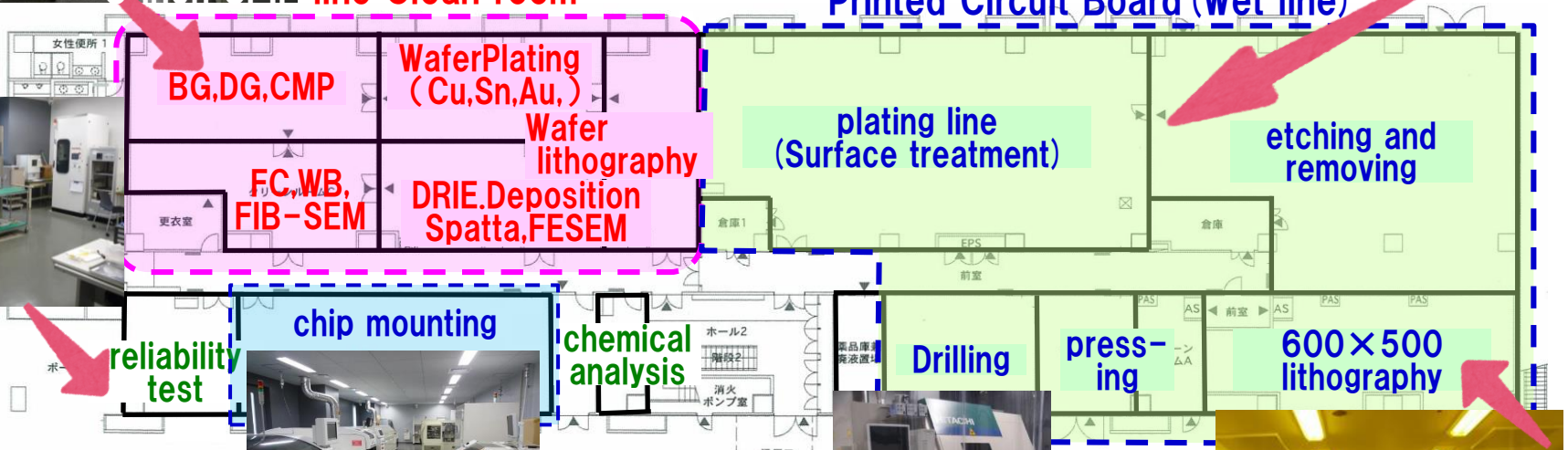
レイアウト＆特徴

・Si基板工程とプリント配線基板の融合
・量産基板サイズ製造での試作評価が可能なライン設定
　★センター標準ワークサイズ：510X407㎜

2F　電気特性評価　設備

8 inch Si IP line Clean room

Printed Circuit Board (Wet line)



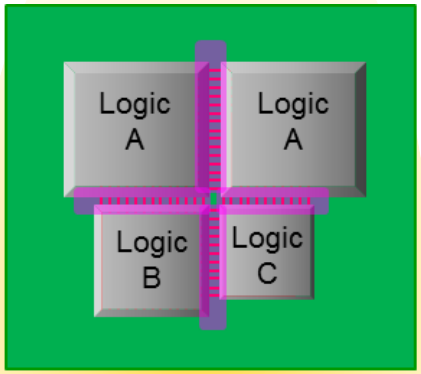
コンセプト

・前後工程の垣根を越えた組合せた工法の発信
　⇒業界の常識と固定概念を捨て、未開のプロセスの発掘

センター狙いどころー1

要求はさらに加速

小型化・薄型化
大容量・高速処理
Low Power
高信頼性
高速大容量転送



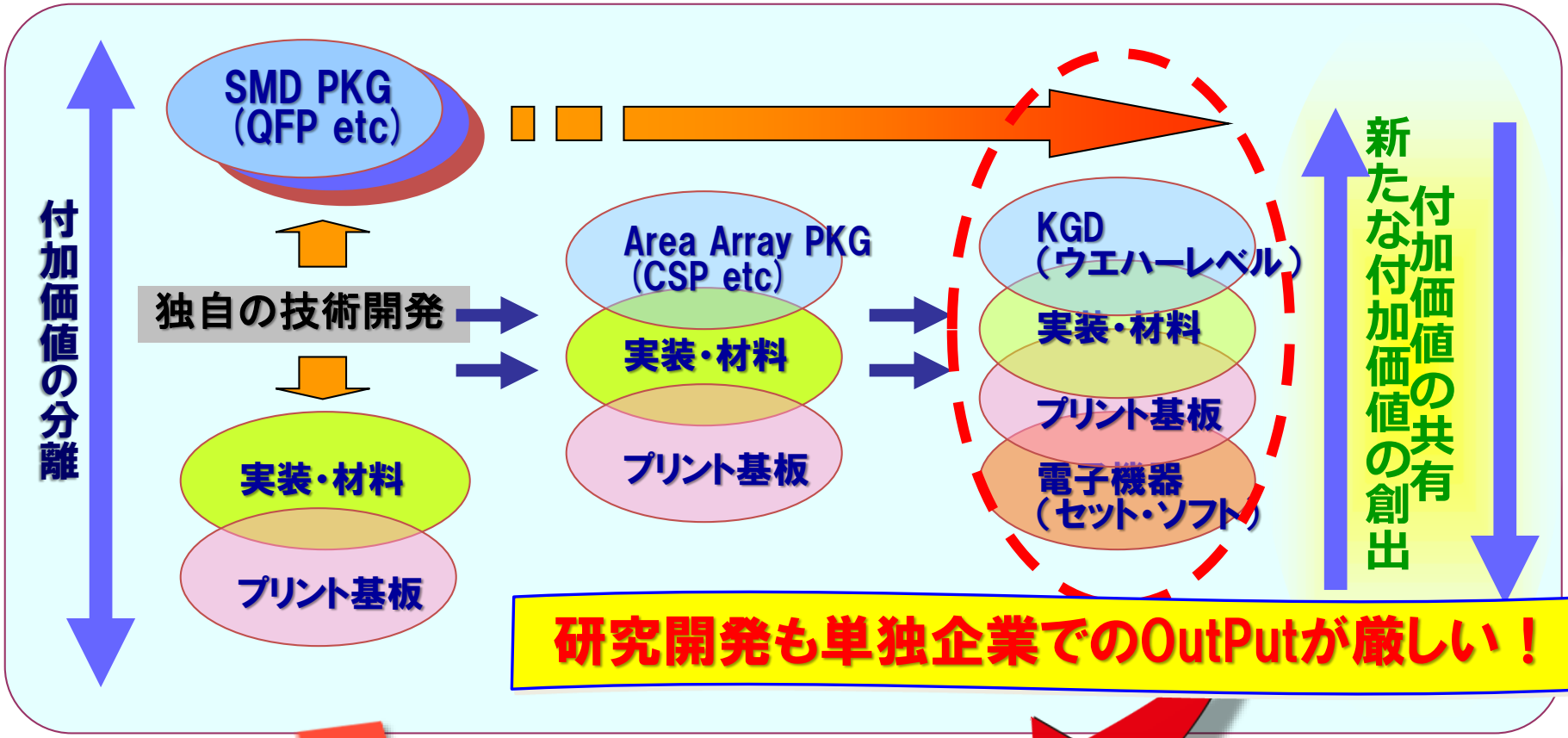
Heterogeneous Integration

高性能デバイスとヘテロジニアスな統合設計が重要

……高性能化デバイスを支える
周辺実装技術（電気特性向上、微細化、小型化等）への新しい付加価値開発に注力

センターの狙いどころ－２

ヘテロジニアスな統合設計が盛んになる近年
LSI分野とパッケージ分野の技術の境目がなくなる…新たな付加価値に



企業開発の壁を越えた開発環境が必要！

プラットフォーム“C SIPOS”

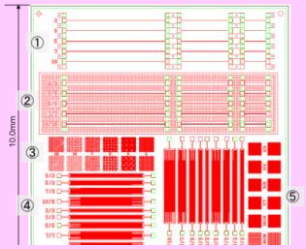
企業様R&Dのサポート

from planning and design to evaluation

人をつくり、時代を拓く。 福岡大學

Fukuoka univ.

・研究開発企画
・設計検討
・シミュレーション

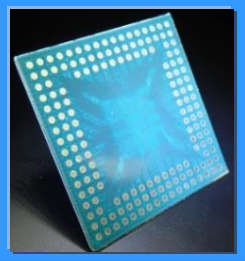


＋

ふくおか IST

3-D CENTER

・使用部材最適化
・プロセス設計
・プロセスレシピ

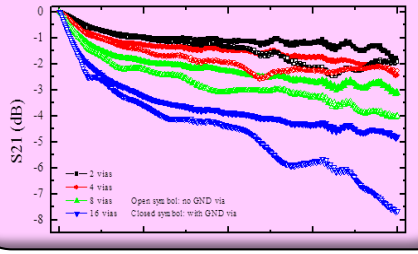


＋

人をつくり、時代を拓く。 福岡大學

Fukuoka univ.

・評価・解析
・標準化
・学会報告など



C-SIPOSプラットフォームの方向性

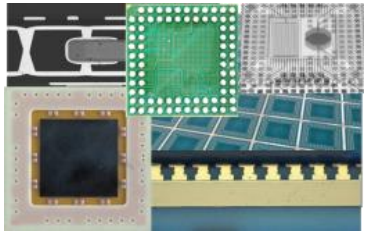
市場ニーズ

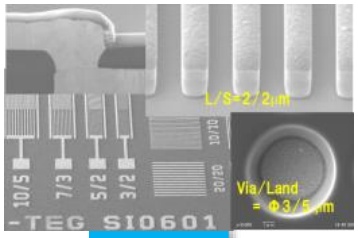
高性能化なデバイスに合わせた**周辺技術との統合的**開発環境が求められる

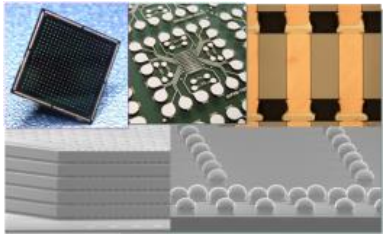
周辺技術における電気特性向上、微細化、小型化等の開発支援
（再配線,Package,新材料など…）

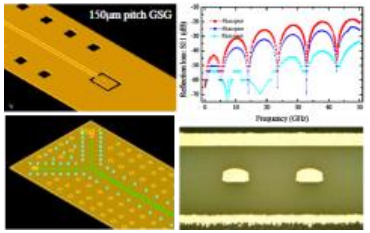
部品内蔵基板Fanout　微細再配線（RDL）　Si IP　Glass IP　高速伝送線路

～2019 PlatForm開発









2020～PlatForm開発の方向性

◆RF機能パッケージ製造評価環境

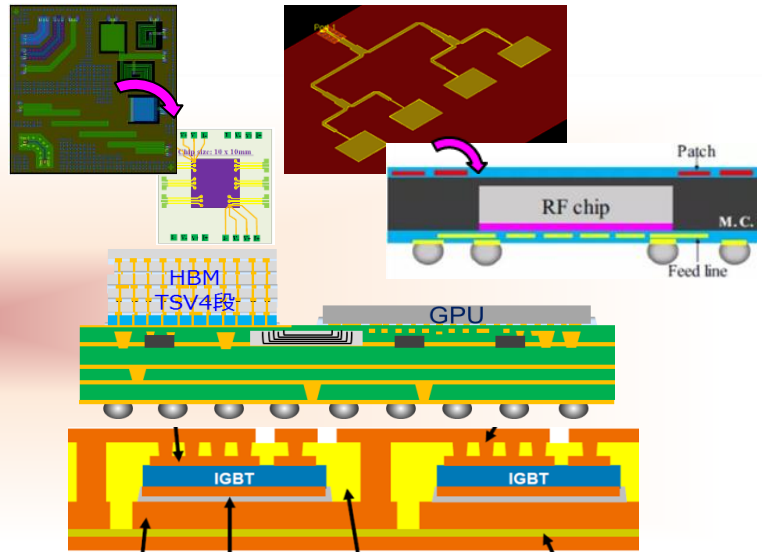
★設計・製造・測定⇒高速伝送＋機能評価環境
※アンテナ、フィルター、受動部品等　RF

◆高機能Moduleへの要素開発

⇒新材料（誘電体、基材、構造）
⇒2.XDモジュールに向けた微細配線＆ビア

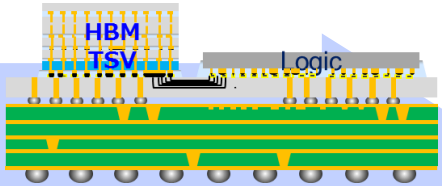
◆PowerPKGの高効率化

部品内蔵技術DEMの展開
⇒**放熱設計、検証、スイッチング特性検証**



C-SIPOS開発のターゲット

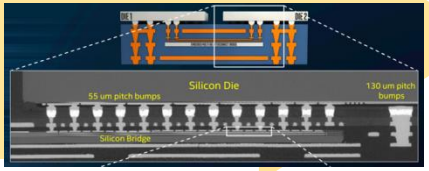
Server,
GraphicCard
(Logic+Memory)



2.5D　GPUカード

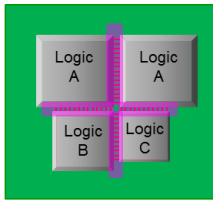
PC,GAME
(Logic+Memory)

MCM（Chip平置）



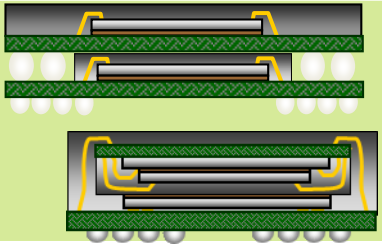
INTEL EMIB

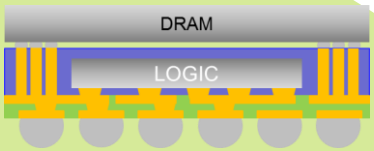
MultiChipFan-Out



ヘテロジニアス＆チップレット

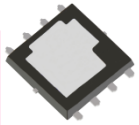
Mobile ,Watch
(Logic+Memory)

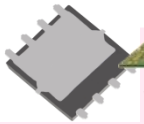


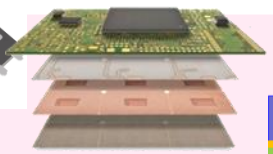


Fan-Out PoP

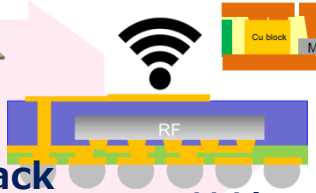
Sencor ,
RF&Antenna,
PowerModule



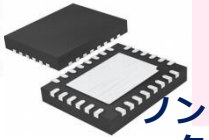




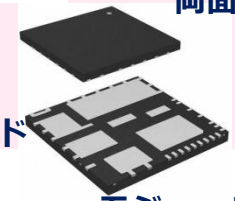
両面放熱 Schweizerp² Pack



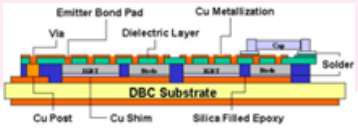
AiP(5G対応)



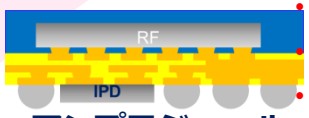
ノンリードタイプ



モジュール化



POL



パワーアンプモジュール

KeyWord
- 広帯域
- 大容量多バス
- 部品内蔵
- 2．XD構造
- 微細RDL

KeyWord
- FO構造大判化
- 薄型、小型化
- 多バスメモリ
- 部品内蔵

KeyWord
- アンテナイン
- 低ｲﾝﾀﾞｸﾀﾝｽ
- 高放熱
- 高耐圧
- 小型化

＝現在取り組んでいる開発テーマ＝

プラットフォームの開発

1. 部品内蔵基板開発
   （含むパワーモジュールの用途）
2. 次世代インターポーザ開発
3. 超微細配線・ビア開発
4. 高周波特性評価開発
5. 部品内蔵基板の国際標準化活動

プラットフォームの高次元化　開発

1. RF機能パッケージ製造評価環境

★設計・製造・測定⇛高速伝送＋機能評価環境
※アンテナ、フィルター、受動部品等　RF

2. 高機能Moduleへの要素開発

⇛新材料（誘電体、基材、構造）
⇛2.XD、3Dモジュールに向けた微細配線＆ビア

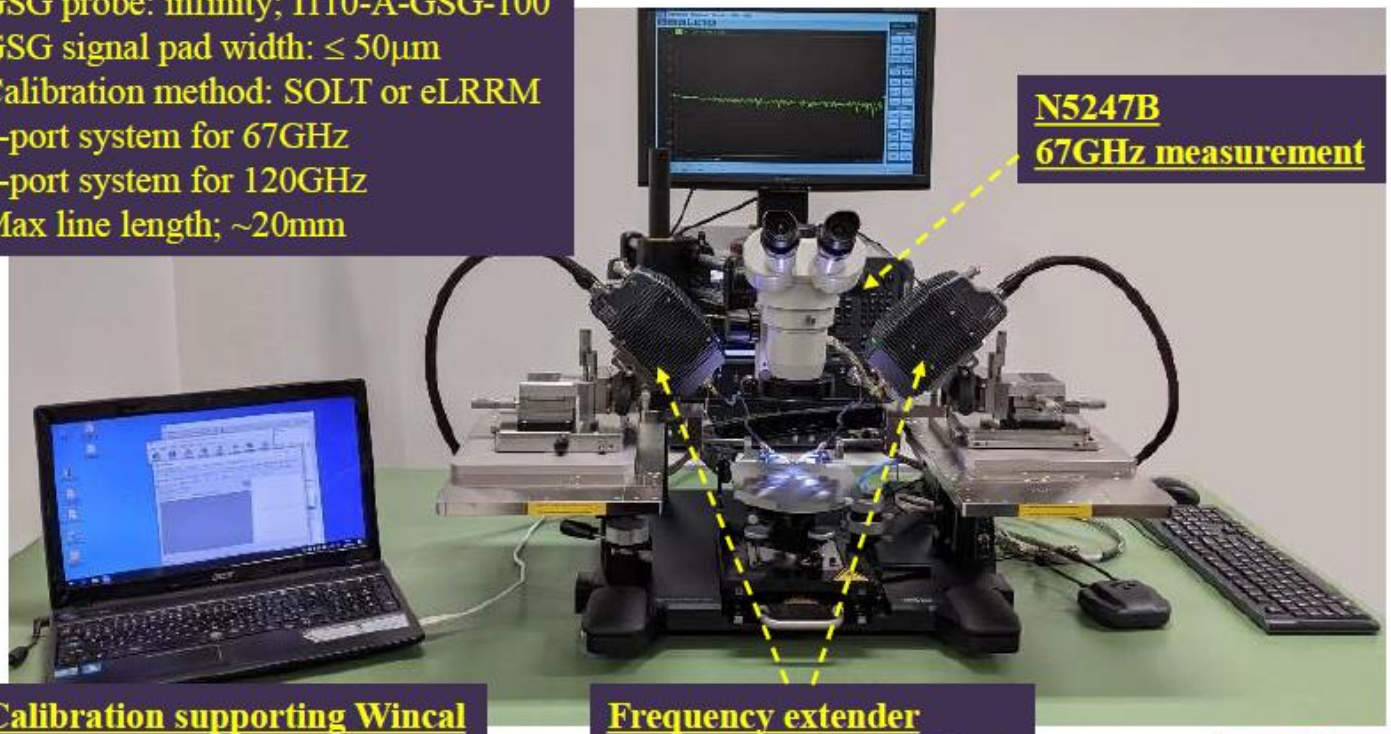
3. Power PKGの高効率化

部品内蔵技術DEMの展開
⇛放熱設計、検証、スイッチング特性検証

Beyond 5G向け設備
100GHZまでの高周波特性評価が可能

- **Keysight PNA system: N5291A**

GSG probe: infinity; I110-A-GSG-100
GSG signal pad width: ≤ 50μm
Calibration method: SOLT or eLRRM
4-port system for 67GHz
2-port system for 120GHz
Max line length; ~20mm



三次元半導体研究センター
Research Center for 3D Semiconductors

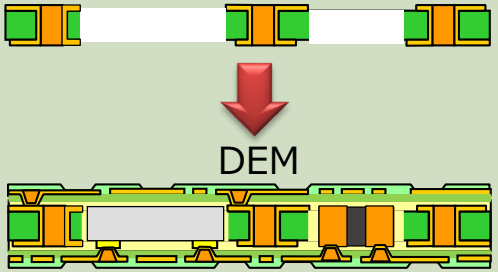
Cf.) eLRRM: advanced Line-Reflect-Reflect-Match

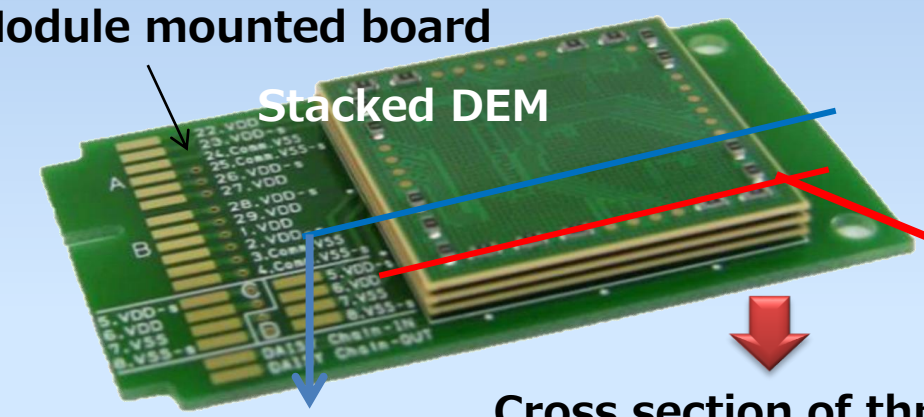
SIPOS
Center of System Integration Platform
Organization Standards

部品内蔵基板(DEM)のスタック例：1

Demonstration of 3D Stacked DEMs

Fiber reinforced epoxy core base

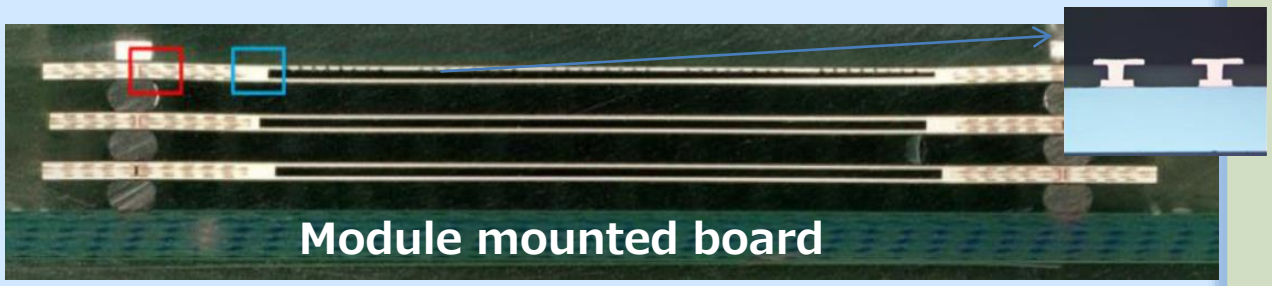


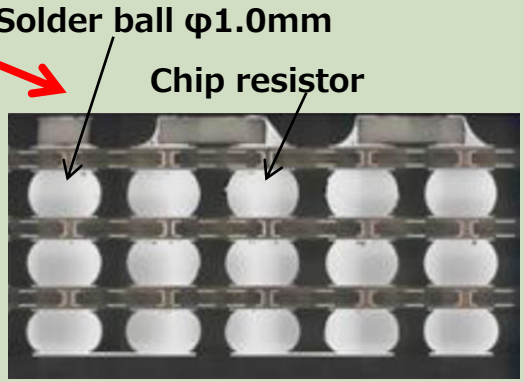


Specification

- 1-2-1DEM size 25mm×25mm×t0.4mm
- Piezo sensor chip 15mm×15mm×t0.2mm
- Mounted board 50.95mm×30mm×t1.0mm

Cross section of three stacked DEM





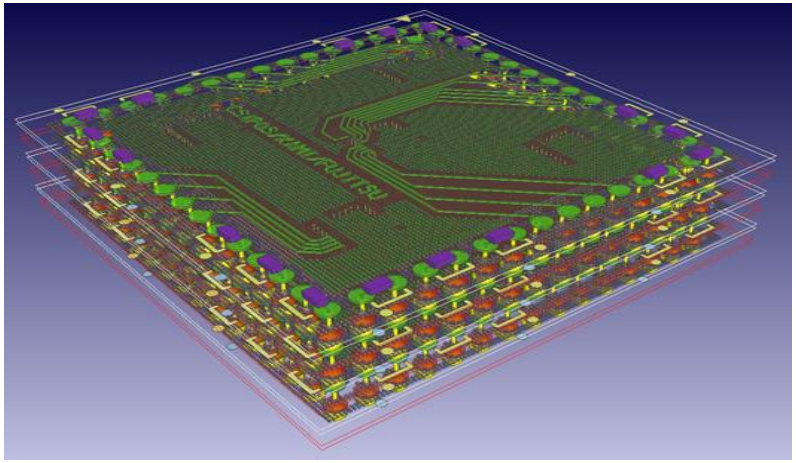
SIPOS
Center of System Integration Platform Organization Standards

3D stacked DEMs can be expected to be applied to Multi-functional integration

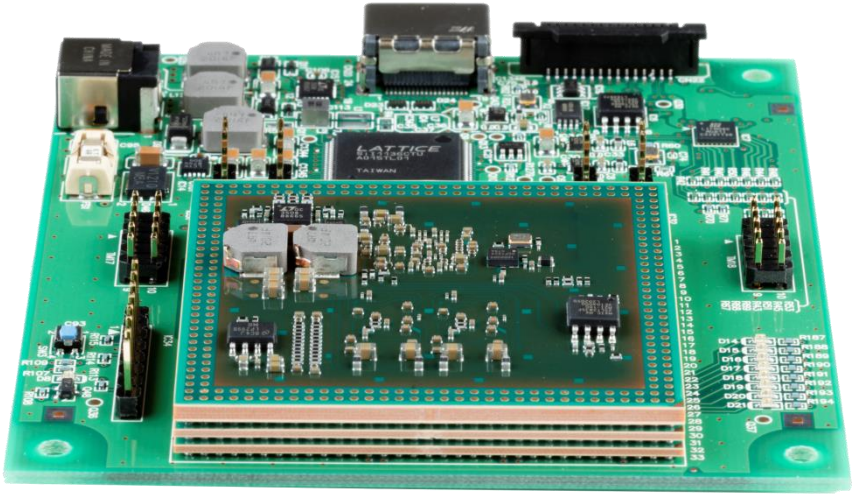
★富士通インターコネクトテクノロジーズ様と、IST、福大の共同製作

部品内蔵基板(DEM)のスタック例：2

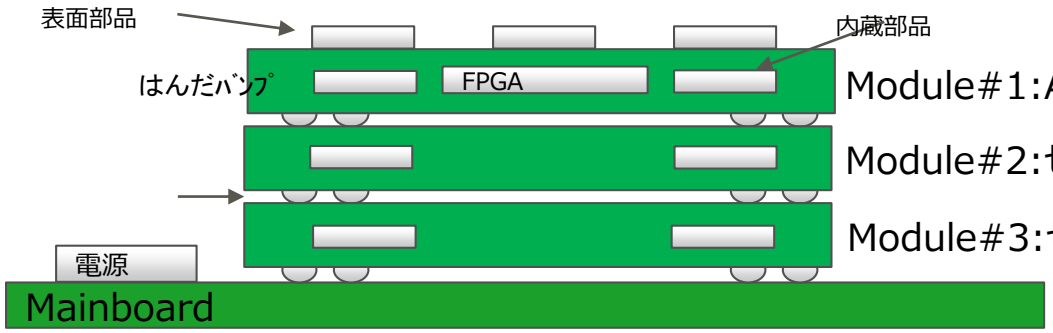
AIエッジインテリジェントモジュール積層化イメージ



図：AIエッジ用インテリジェント
モジュールイメージ例



図：AIエッジ用インテリジェントモジュール　センサーモジュール試作品



図．AIエッジ用インテリジェントモジュールの積層化イメージ

★富士通QNET様と、IST、
福大の共同製作

※本開発は、経済産業省委託事業「省エネルギー等国際標準開発」
（2029-年度2021年度平成28年度）事業による支援開発です。

IEC国際標準化活動

国内外の関連業界団体との協業

- 2008年から部品内蔵基板の規格化スタート
- 2008/06 に世界初となるJPCA部品内蔵基板規格EB01発行
- EB01 のIEC活動
  - IEC 62878-1-1 : Generic specification – Test method (IS)
  - IEC 62878-2-1 : General description of technology(TS)
  - IEC 62878-2-3 : Design guide(TS)
  - IEC 62878-2-4 : Test element group (TEG)(TS)

  3つのTSは2015.03に発行済
- 2011/11 JPCA部品内蔵基板規格EB02発行
  - 設計データフォーマットFUJIKO
- EB02のIEC活動
  - 2015/03/28 IECへPAS提案
  - IEC 62878-2-5 : Design format (IS)
  - 2015/10 NP提案
- 部品内蔵パッケージ関係(活動中)
  - JPCA UB01の記載して今年発行予定
  - 2015/05/14 2020/12/05 TC-91 WG6からNP提案

    (三次元電子モジュールの電気的接続方法)

  ＊2015年国際規格化(IS)第3段及び

  ＊2017年の国際規格化(IS)第4段予定

第1段

2015.5.26 国際規格発行

第2段

2019.9.16 国際規格発行

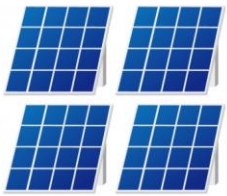
直流給電と半導体

直流給電とは

従来の送電方法は交流送電であった。しかし、発電方法に太陽光発電のような直流発電が増え負荷機器にIT機器のような直流負荷が増加してきた。

火力発電

AC



太陽光発電

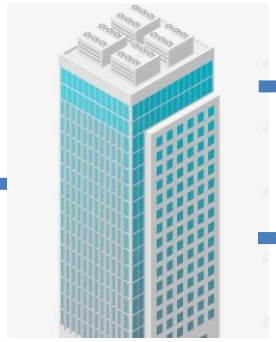
DC/AC

風力発電

AC/AC

交流送電網

AC



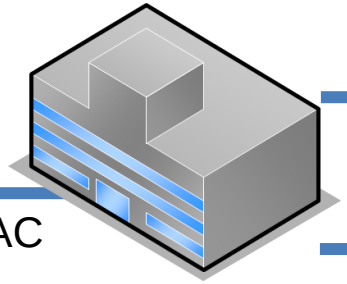
インテリジェントビル

AC/DC IT機器

AC/DC IT機器

コンピュータ機器

AC



データセンター

AC/DC IT機器

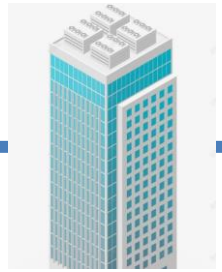
AC/DC IT機器

サーバー機器

直流給電とは

発電も負荷も直流機器ならば、途中の交流をなくして直流ー交流、交流ー直流の変換ロスを削減しようというのが直流給電の発想である。

AC/DC

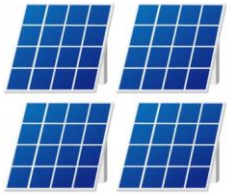


インテリジェントビル

DC/DC

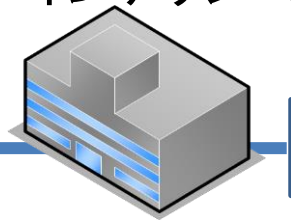
IT機器

IT機器



太陽光発電

DC/DC



データセンター

DC/DC

IT機器

IT機器

風力発電

AC/DC

直流バス

IT機器の電力消費量は今後も爆発的に増加する。AIやビッグデータ、メタバースなどいずれも莫大な電力を必要とする新技術が急速に拡大する。

国立研究開発法人科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター資料平成 31 年 3 月

情報化社会の進展がエネルギー消費に与える影響（Vol.1）－IT機器の消費電力の現状と将来予測－

■データ処理量（トラフィック）の増大

・わが国では、特に2014年以降急速に伸びた。今後もオンラインサービスは増加しつづけると考えられる[1]。世界での今後5年間年平均成長率は24%と見積もられ、特にモバイルデータの急増が推定されている[2]。

■主要IT機器の消費電力予測

・IT関連消費電力について、文献[1]から情報関連機器のみを抜き出して、LCS推計値と比較した（表1）。これらのうち、TV/モニタおよび複合プリンタを除く全ての機器はデータ処理量と消費電力は比例関係にあると仮定し、IPトラフィックに比例して消費電力が増大すると推定した（表2）。世界のIPトラフィックは2030年には現在の30倍以上、2050年には4,000倍に達すると予想され、まったく省エネルギー対策がなされないと、情報関連だけで2030年には現在の世界の消費電力の約24PWhを大きく上回ると予測された。

表1 IT関連の消費電力予測（TWh/年）
（PUE：データセンター全体の消費電力/IT機器の消費電力）

	日本		世界	
	グリーンIT推進協議会[3]（2005）PUE=1.9	LCS推計値（2016）PUE=1.5	グリーンIT推進協議会[3]（2005）PUE=1.9	LCS推計値（2016）PUE=1.5
データセンター	15	16	111	238
サーバ	6.3	7.4	43.3	111
ストレージ	0.9	3	9.3	37
ネットワーク	0.5	0.5	5.7	10
空調その他	6.9	5.5	52.5	79
エンドユーザー	18	21	326	570
PC	2.2	6.8	32.2	150
TV・モニタ	15.5	8	293.3	300
複合プリンタ	－	6	－	120
ネットワーク	10	18	164	783
ルータ・スイッチ	10.2	10.7	163.8	263
無線送信・端末	－	7.4	－	520
合計	43	55	601	1,590

表2 IT関連の消費電力予測

IT関連消費電力予測	2016年	2030年	2050年
IPトラフィック（ZB/年）	4.7	170	20,200
消費電力（国内：TWh/年）	41	1,480	176,200
消費電力（世界：TWh/年）	1,170	42,300	5,030,000

政策立案のための提案

・IT機器の省エネルギー対策が全くなされないと、極端な消費電力となり、その対策が必要なことは明らかである。
・回路の微細化に伴って消費電力も低減されるという経験則もあるが、今後の微細加工がこの経験則に従うかは定かではなく、また3次元化する場合に除熱の問題もある。
・冷却方法の工夫やスマート化など、様々な工夫による節電は進められると思うが、このような技術だけで対応できるのか、種々の面から慎重な検討が必要である。

[1] 総務省, “平成29年度版情報通信白書　特集　データ主導経済と社会変革”, 2017.
[2] Cisco, “Cisco Global Cloud Index：予測と方法論、2015～2020年”, 2016.
[3] グリーンIT推進協議会調査分析委員会, “総合報告書（2008年度～2012年度）”, 2013.

https://www.jst.go.jp/lcs/pdf/fy2018-pp-15.pdf

IT機器消費電力の爆発的増大

- 直流電力で動くIT関連の普及が今後増大する。
- Enerdata社の統計とJSTの統計から求めると世界のIT機器が占める電力消費は2016年時点で世界の電力消費の5%である。
- 世界のIT関連消費電力はJST試算によると2016年に比べて2030年は36倍、2050年は4300倍に増加する。（現在の世界の総消費電力より大きい！）
- IT機器の消費電力の高効率化、グリーンエネルギーからの電力供給に適した機器構成へと変革しなければいけない。

NEDO採択事業

NEDO先導研究プログラム／エネルギー・環境新技術先導研究プログラム　／

「先端実装技術を用いた多重直並列構成アダプティブ電源の研究開発」
(2021年度)

事業体
学校法人福岡大学
公益財団法人福岡県産業・科学技術振興財団
学校法人長崎総合科学大学
イサハヤ電子株式会社

研究開発全体の俯瞰図（多重直並列アダプティブ電源）

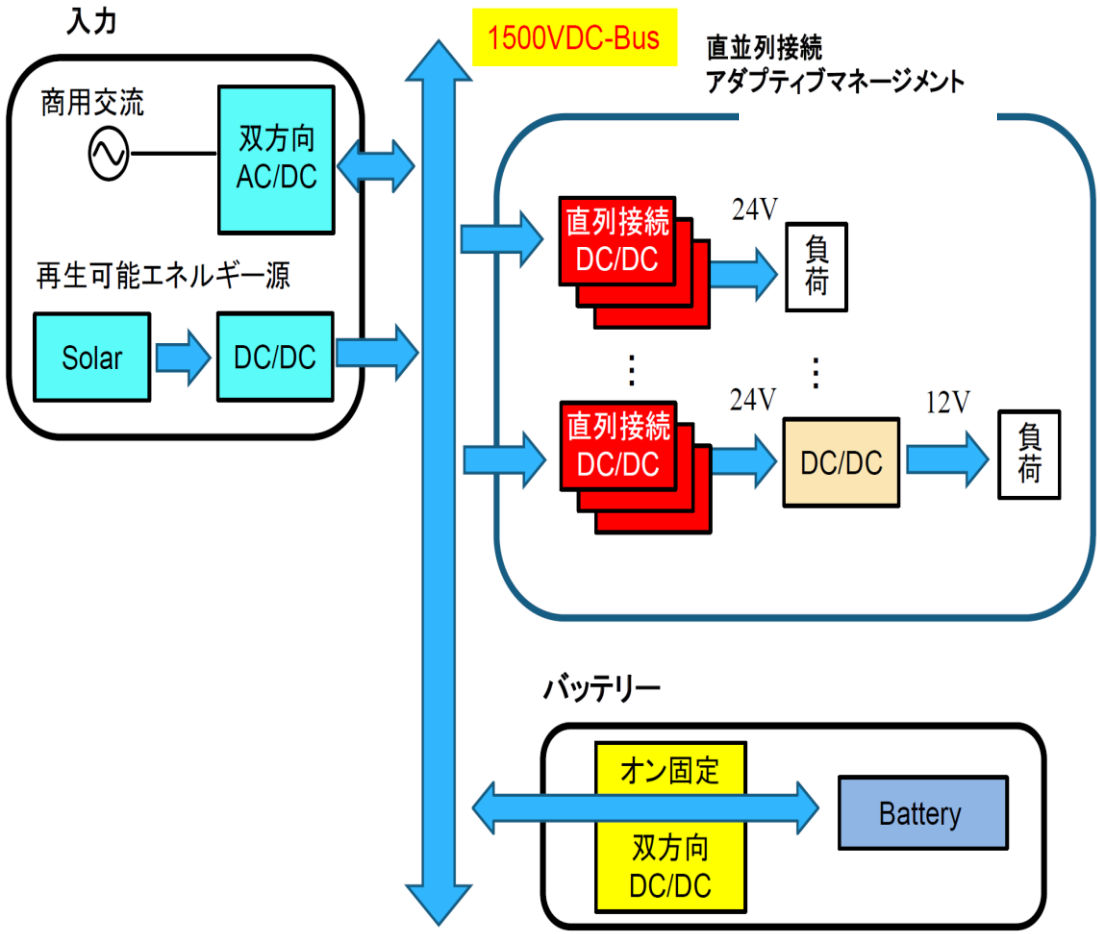
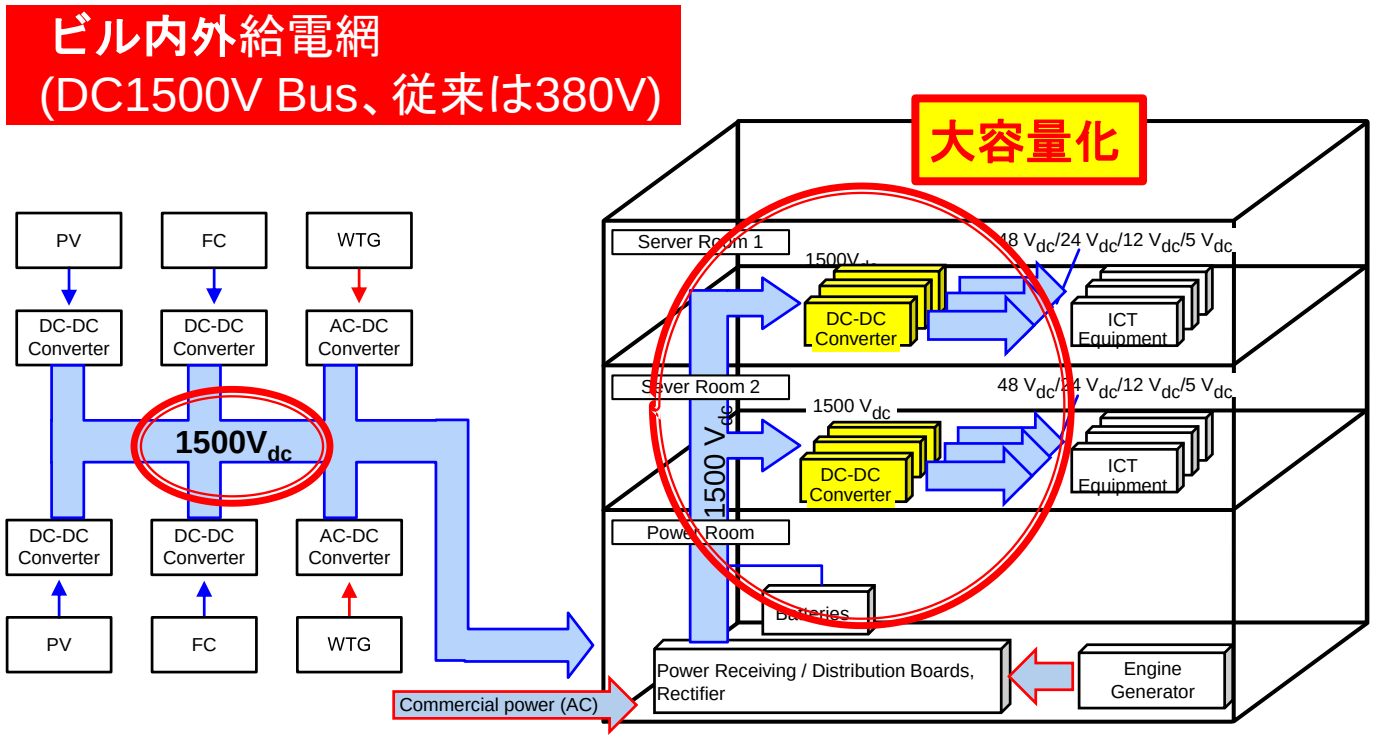


図5　再生可能エネルギーを含んだ直並列電源構成直流給電システム

再生可能エネルギーを含んだDC給電システムによる将来のビル内給電網



研究開発全体の俯瞰図（多重直並列アダプティブ電源）

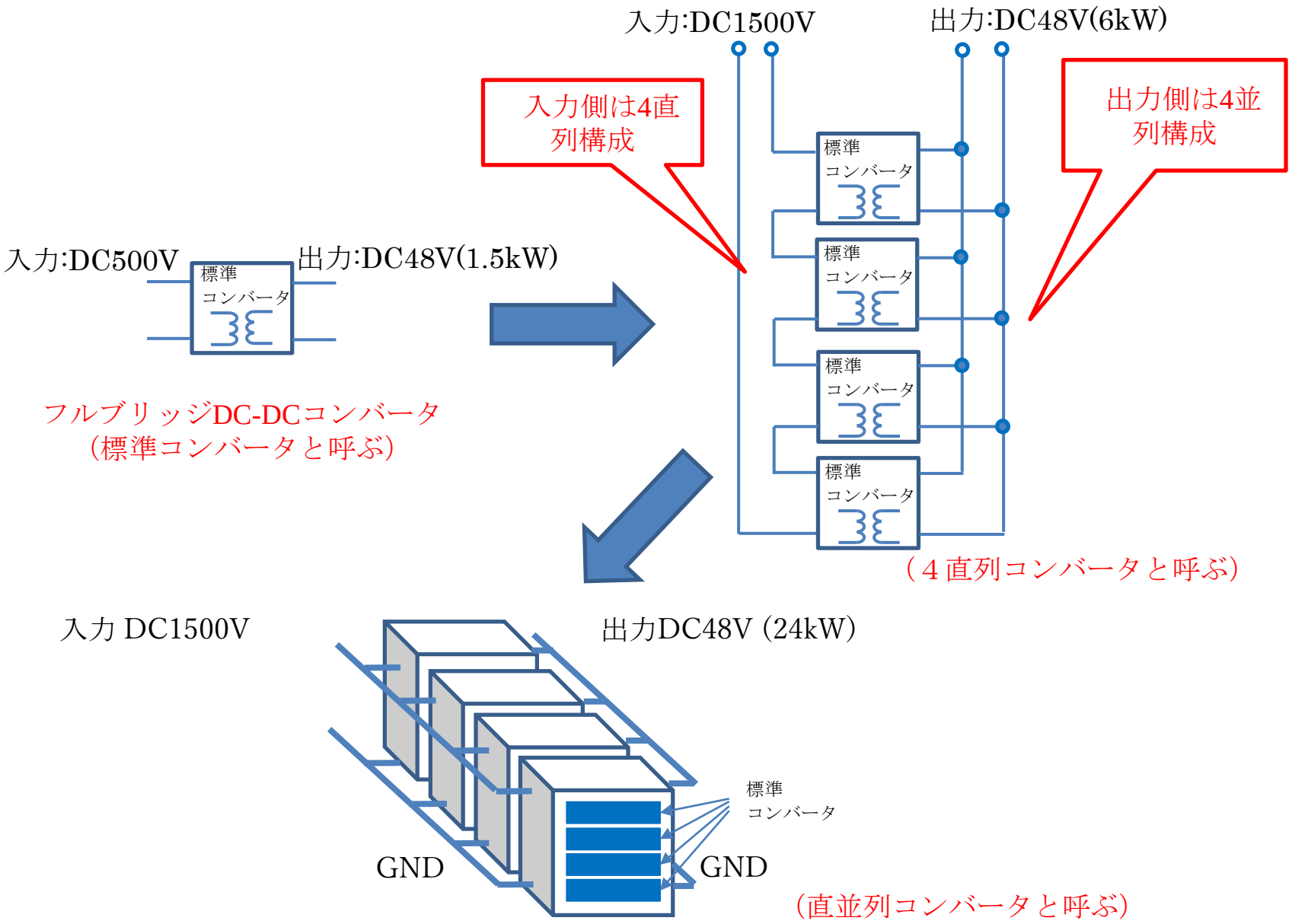
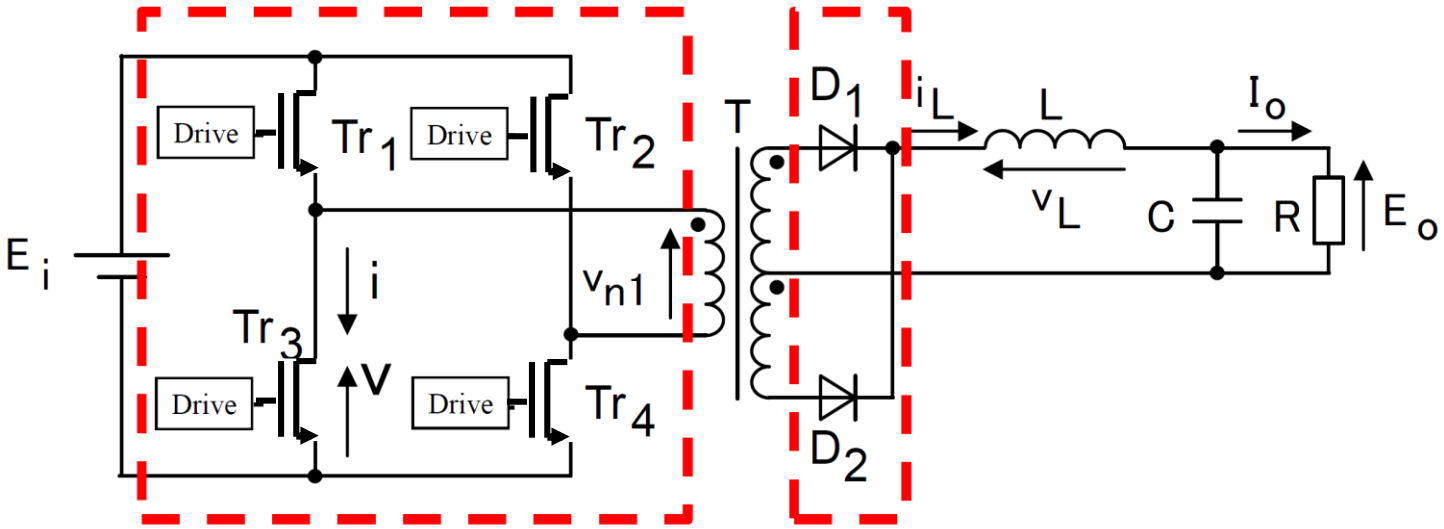


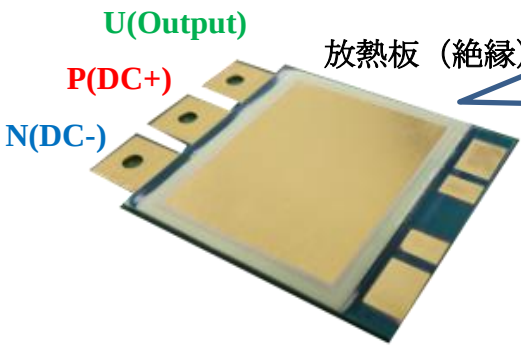
Fig. 1-2-4.　標準コンバータの多重直並列構成による大出力化

部品内蔵基板パワーモジュール（先端実装技術）

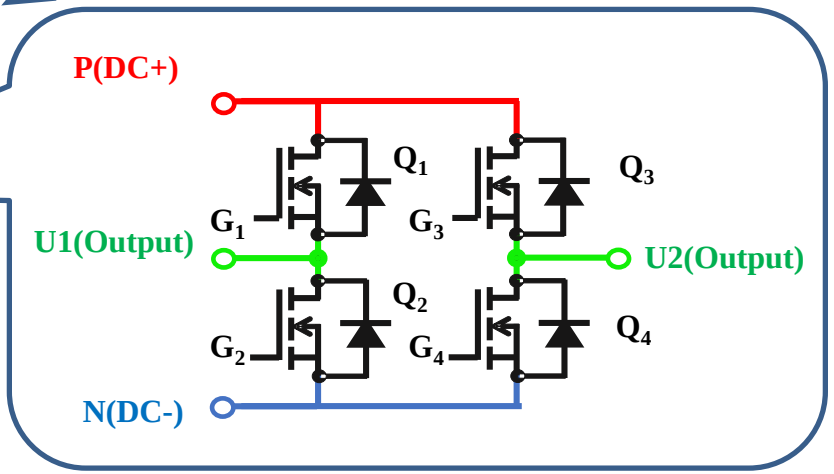
パワー半導体、ドライブ回路、2次側回路をそれぞれパワーモジュール化



標準コンバータ回路図



部品内蔵基板パワーモジュール
（パワーモジュールと呼ぶ）



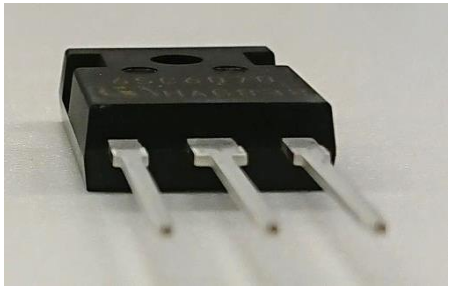
パワー半導体周辺の回路

部品内蔵基板パワーモジュール

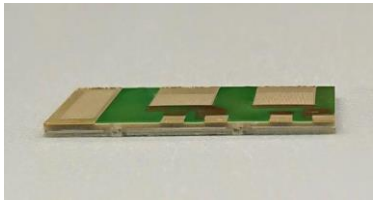
部品内蔵基板の特徴
小型化、放熱性向上、信頼性向上、寄生容量低減

2021年度NEDO事業成果

市販パワーモジュール
40.6X15.7X4.8mm寄生インダクタンス
36nH



2021年度作製ハーフブリッジ
パワーモジュール断面構造



2021年度作製部品内蔵パワーモジュール
26.5X16.5X1.1mm

寄生インダクタンス
1.6nHを達成

まとめ

カーボンニュートラルを実現するために、爆発的に増大するIT関連電力消費における高効率化、グリーンエネルギ化を進める直流給電機器を開発している。

NEDO事業2021年度採択され、多重直並列構成アダプティブ電源を開発した。2022年度再度採択され現在電源の大出力化、高集積化を進めている。

ご清聴ありがとうございました。