

R3年11月2日

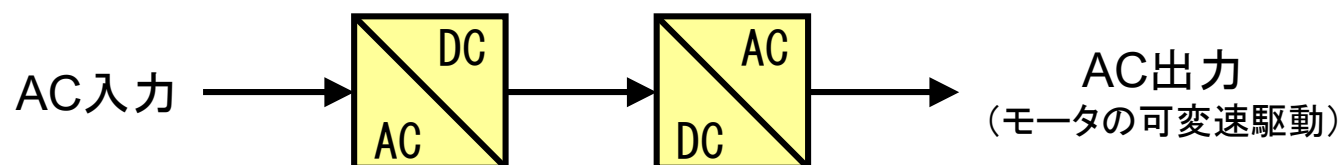
航空機電動化(ECLAIR)コンソーシアム 第4回オープンフォーラム

# 航空機適用を目指した パワーエレクトロニクス技術の検討と課題

国立研究開発法人 産業技術総合研究所  
先進パワーエレクトロニクス研究センター  
山口 浩

# 航空機のハイブリッド推進化に向けて

## ・パワーエレクトロニクスによるモータ駆動技術



航空機用のシステムも、新幹線等の電気鉄道用駆動システムと類似  
ただし、大容量の電力変換器を航空機に搭載した実績は無い

## ・小形軽量化要求への対応

SiCパワー素子の適用

低損失 …冷却の簡素化

高制御性…フィルタの簡素化

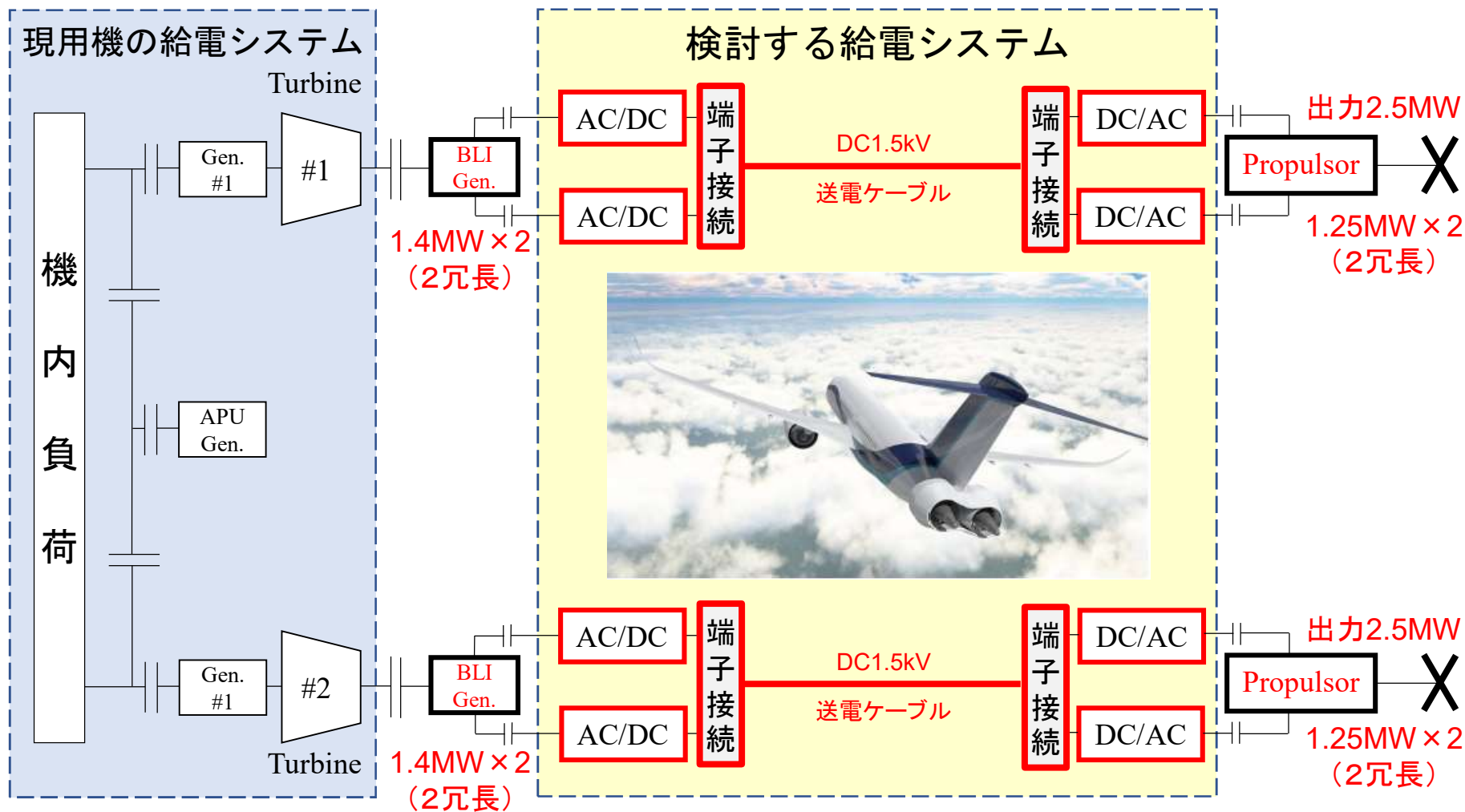
高温動作…冷却の簡素化

SiCパワー素子は、大容量の  
電力変換に適した性質

航空機適用に向けた最重要課題  
給電システムの**小形軽量性・低損失性**

# 検討する電化航空機の給電システム

【先導研究】 1.2kV素子を使ったDC0.6kVシステムで原理検証 ⇒ DC1.5kVシステムの設計に反映

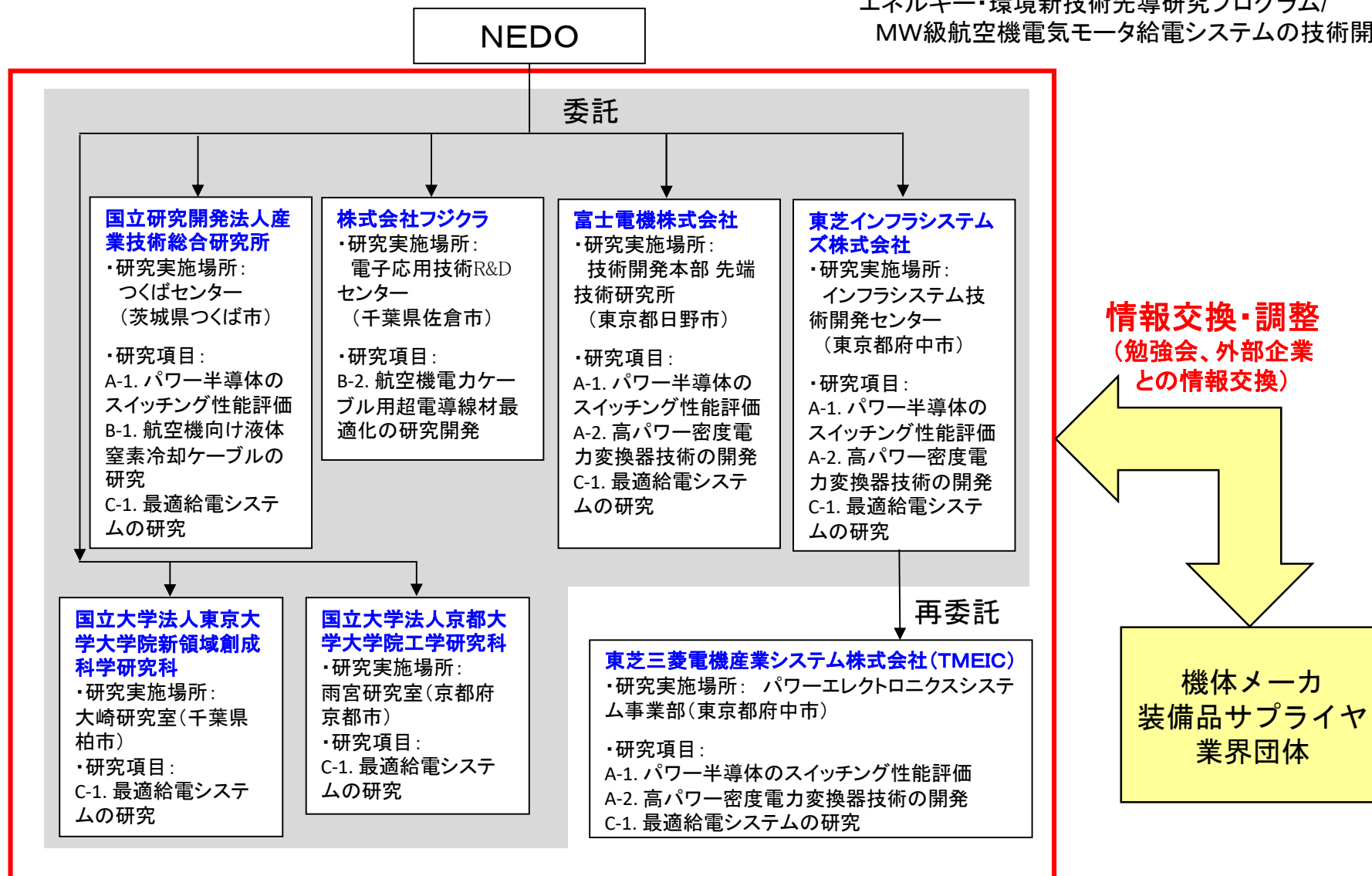


BLI : Boundary Layer Ingestion

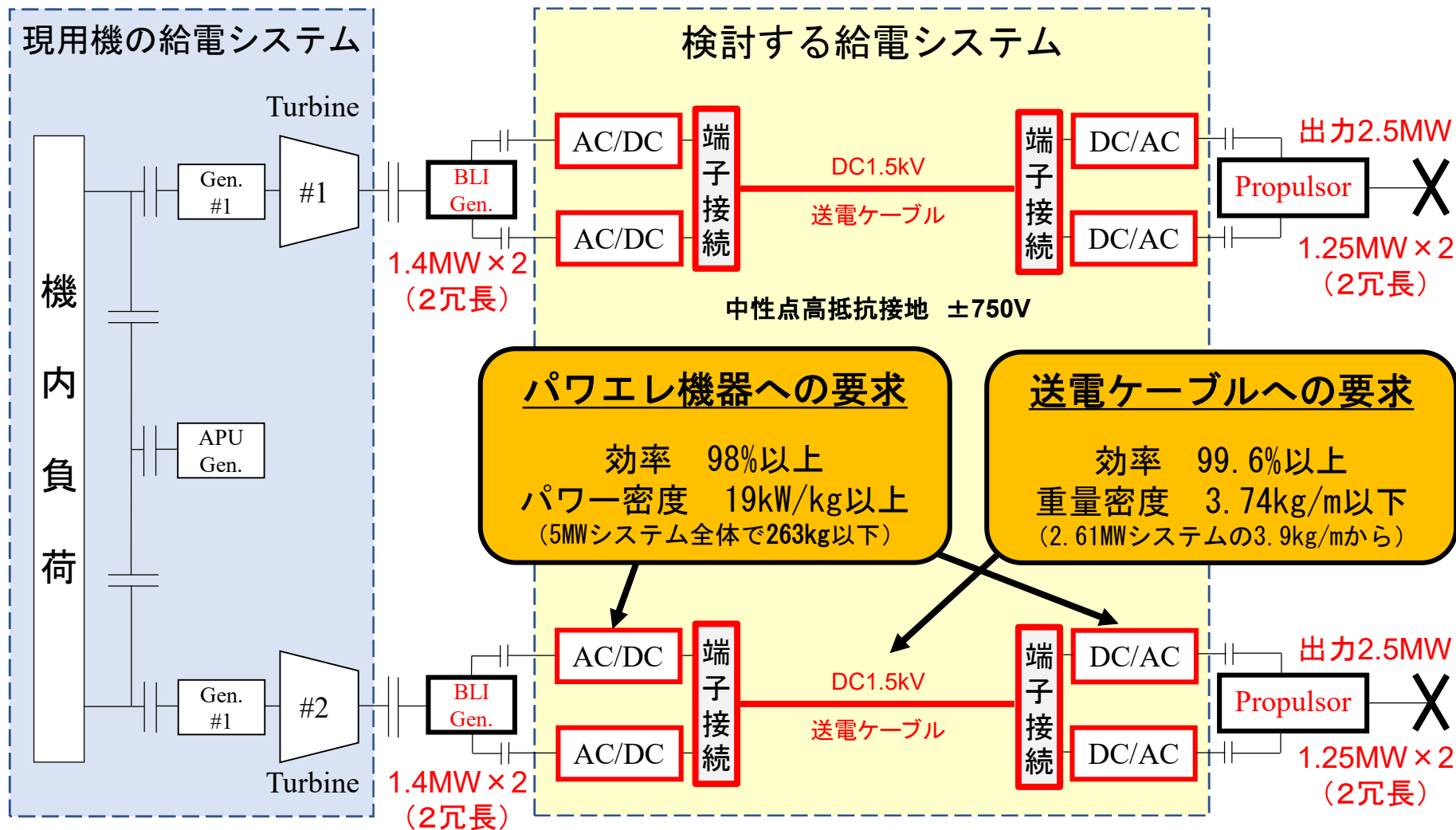
\* 機体イメージ図はJADC殿の提供による

# NEDO先導研究の実施体制

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/  
 MW級航空機電気モータ給電システムの技術開発



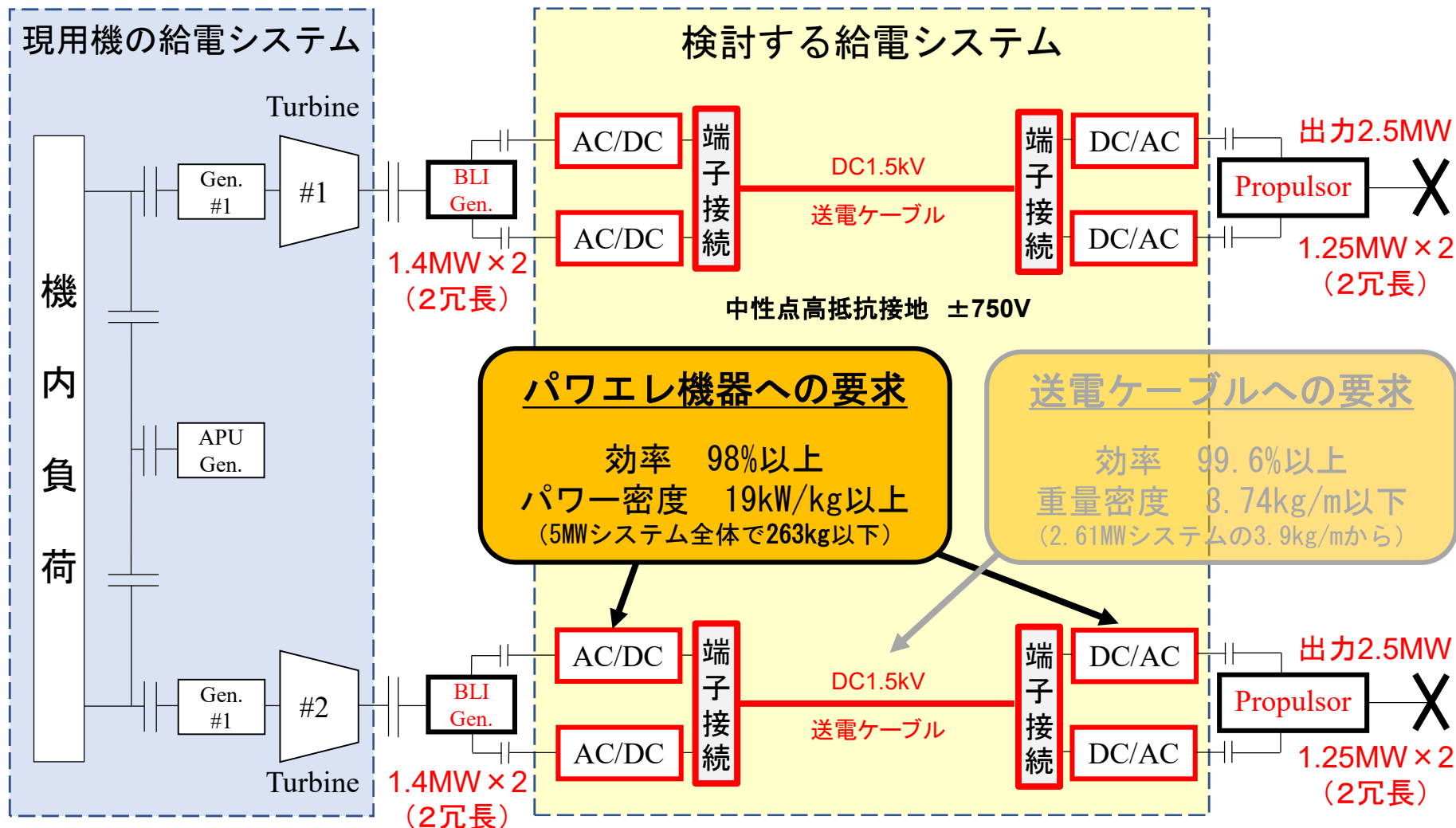
# 検討する電化航空機の給電システム



BLI : Boundary Layer Ingestion

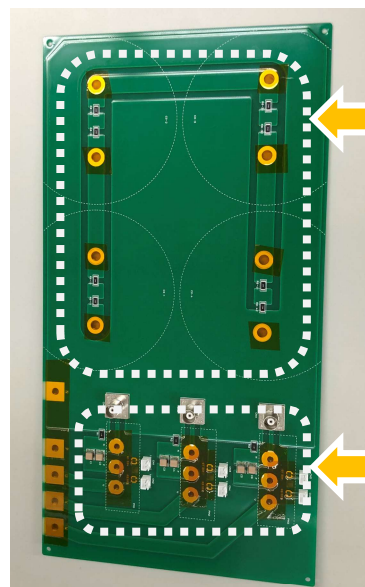
# 検討する電化航空機の給電システム

【先導研究】 1.2kV素子を使ったDC0.6kVシステムで原理検証 ⇒ DC1.5kVシステム的设计に反映



BLI : Boundary Layer Ingestion

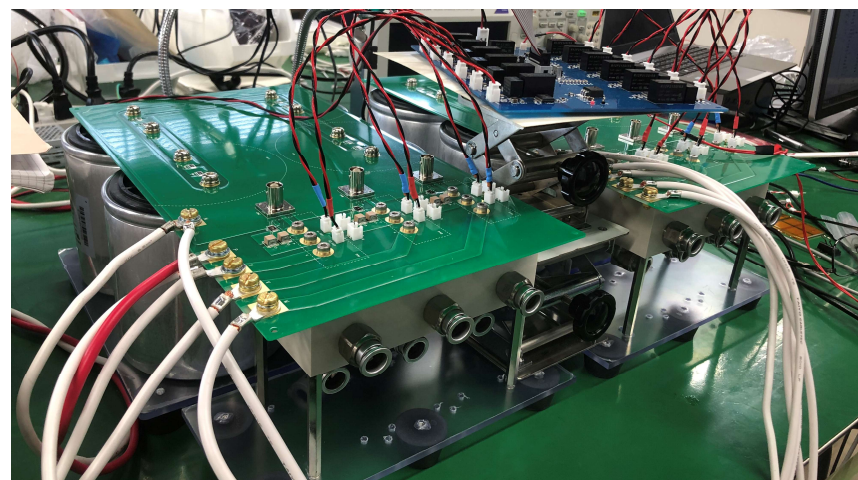
# 1. 2kV SiC素子による試作変換器



DCコンデンサ(4直列)  
搭載場所

2 in 1モジュールの  
搭載場所(3個)

AC/DC → DC/AC の回路(AC側をL接続)



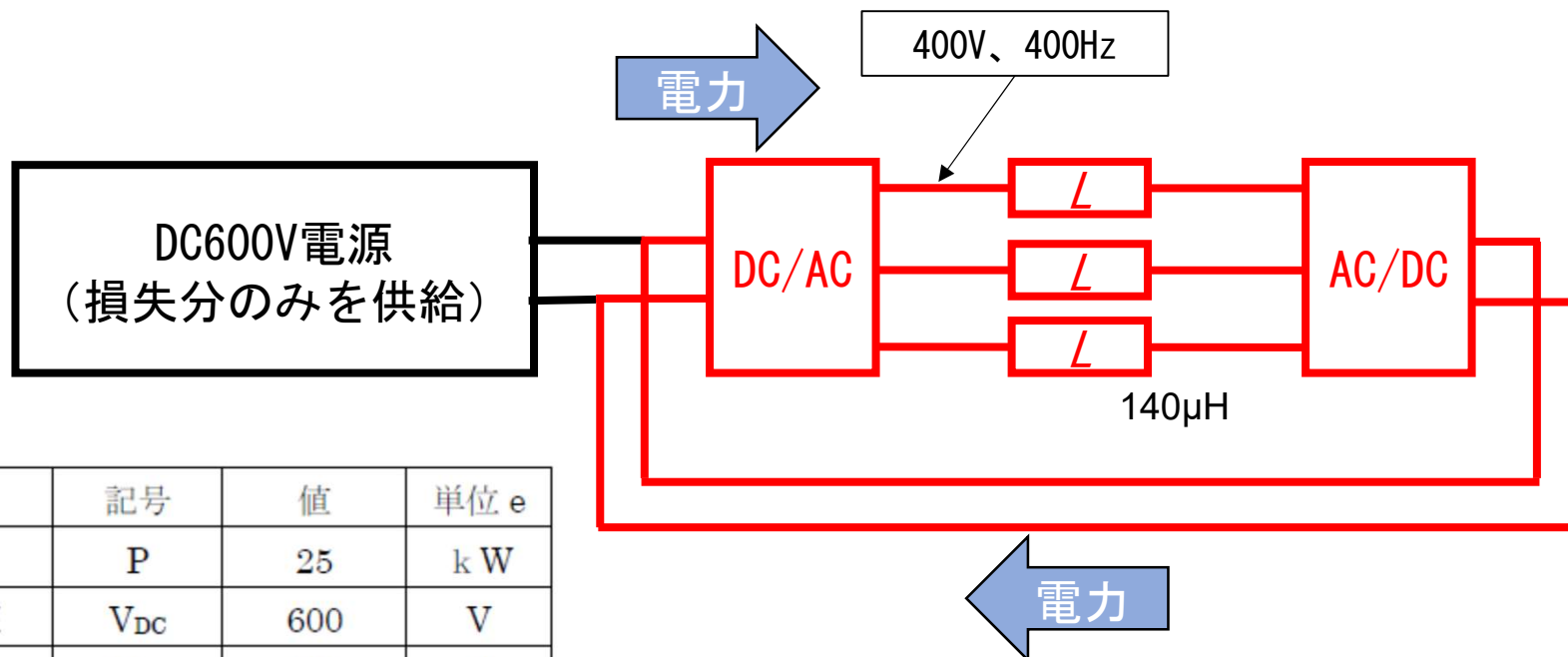
項目	値	比率
キャパシタ	450 g※	28.7 %
冷却機構	800 g	51.0 %
主回路	200 g	12.7 %
SiC モジュール	120 g	7.6 %
合計	1570 g	100 %
電力重量密度	15.9 kW/kg	

合計で約80%

要改善(目標; 19kW/kg)

キャパシタは 900V-220uF (TDK B25620B0227K881) で計算

# 試作した小容量モデル変換器の仕様



要素	記号	値	単位 e
定格電力	P	25	kW
直流バス電圧	V <sub>DC</sub>	600	V
交流電圧	V <sub>AC</sub>	400	V
交流電流振幅	I <sub>peak</sub>	50	A
交流周波数	f <sub>AC</sub>	400	Hz
直流コンデンサ	C <sub>DC</sub>	200	µF
交流リアクトル	L <sub>AC</sub>	140	µH
直流リアクトル	L <sub>DC</sub>	1	µH
PWM Frequency	f <sub>sw</sub>	24000	Hz
Dead time	T <sub>D</sub>	0.5	µs

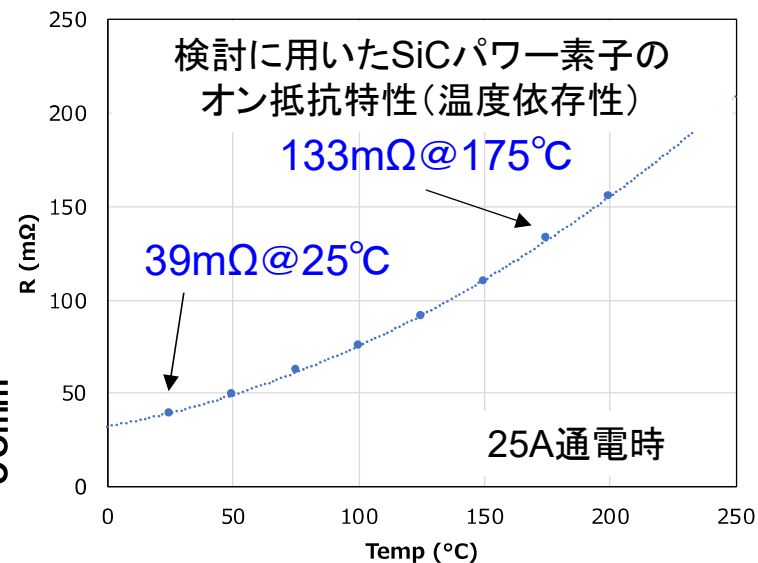
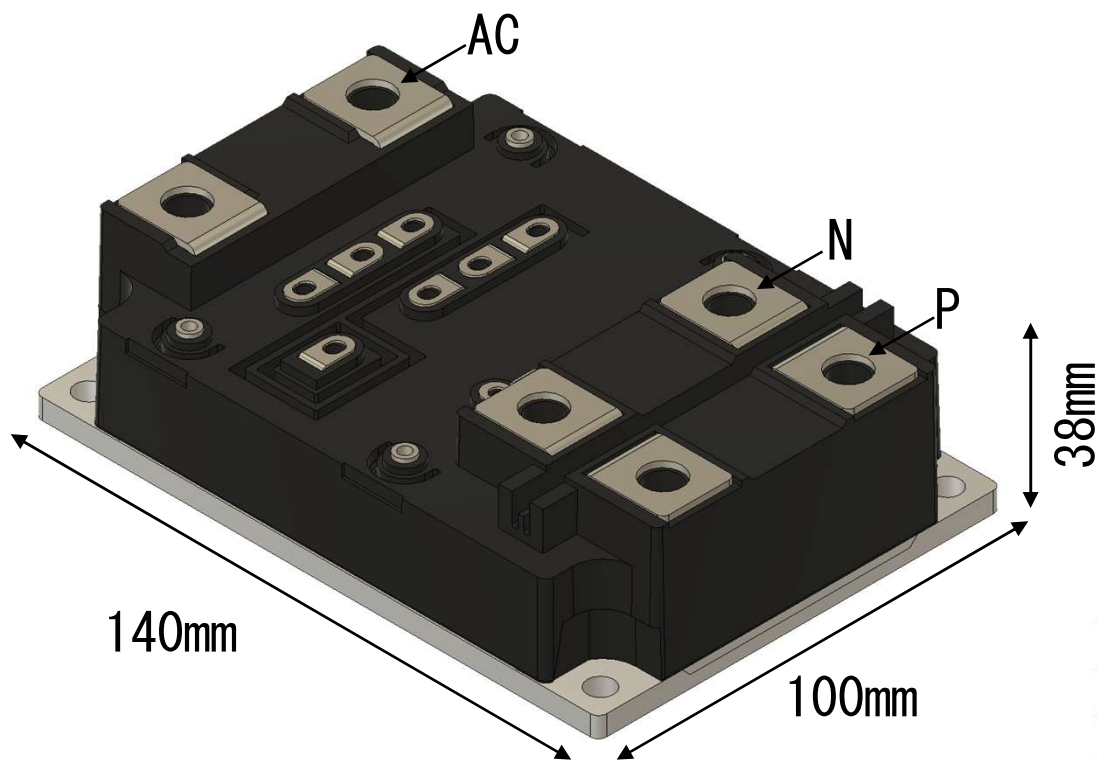
DC0.6kVシステムでの原理検証  
(25.9kWの通電試験)

↓

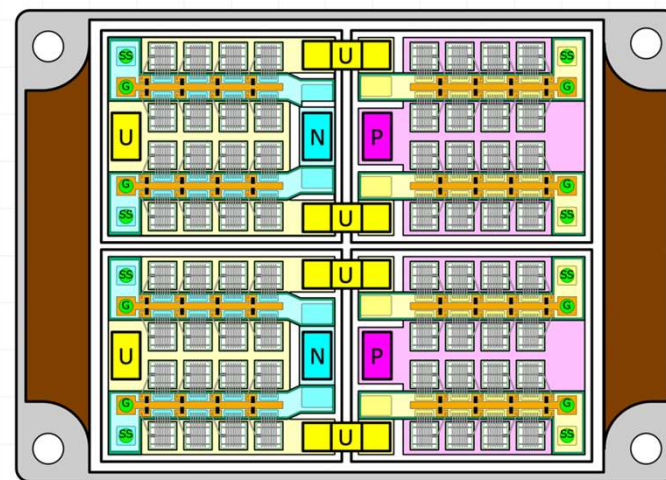
合計損失340W (うち約253Wが導通損失)  
総合効率 (AC/DC/ACの効率) **98.7%**



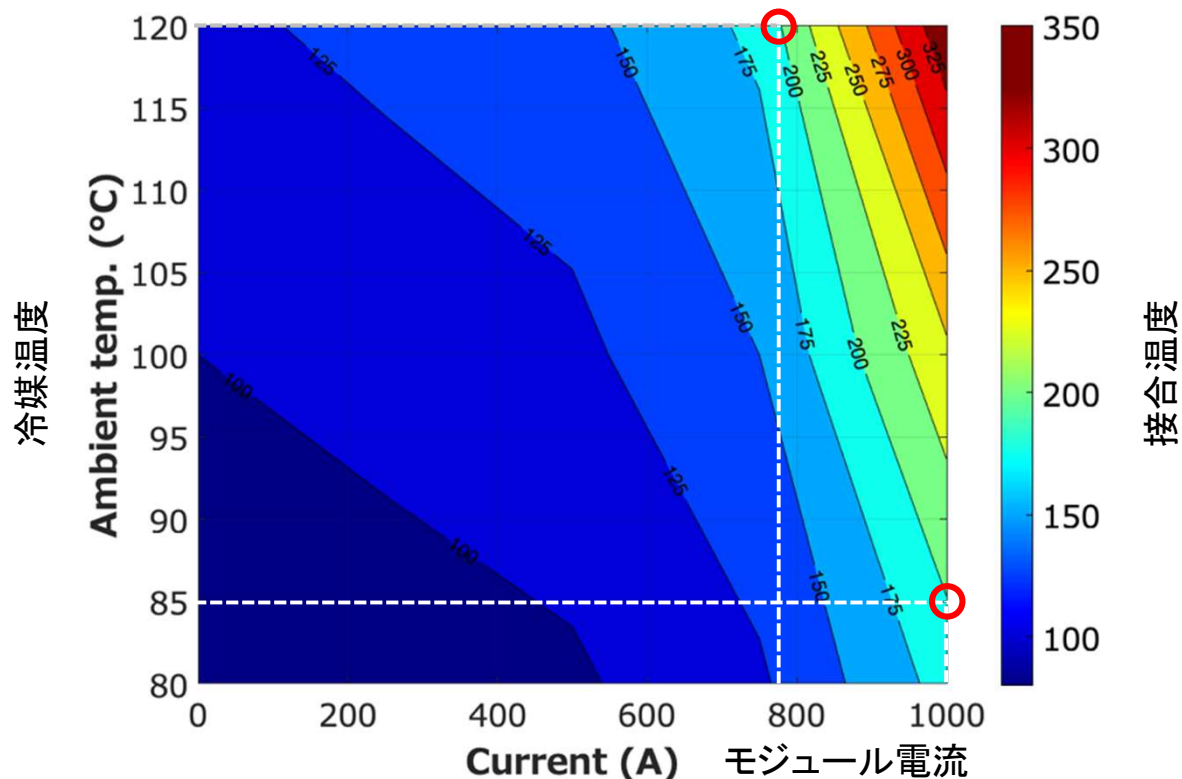
# 想定する3.3kV-1kA級SiCモジュールの構造



- 回路構成 : 2 in 1
- チップ並列数32×2
- BPにはAISiCを使用

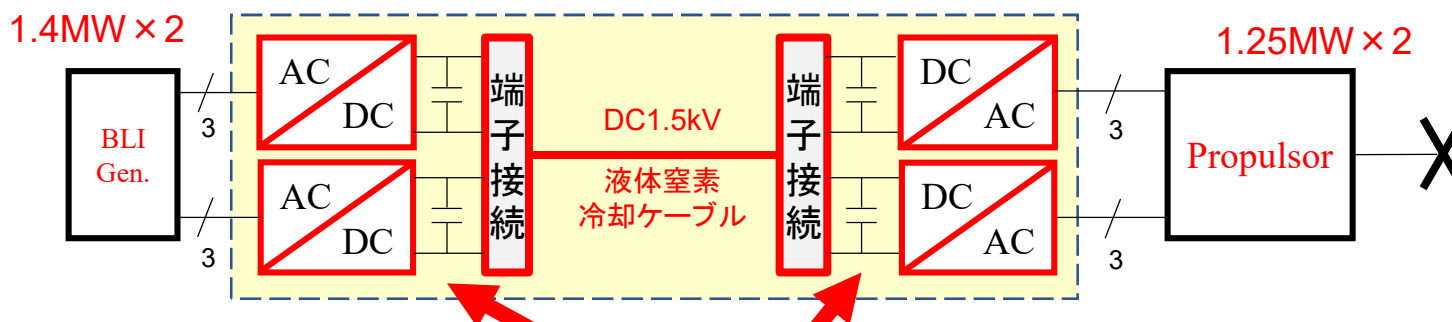


# 冷媒温度の影響



- 接合温度 $200^{\circ}\text{C}$ 以下で使う場合、  
1kA通電には $85^{\circ}\text{C}$ 以下の冷媒温度が必要
- 冷媒温度 $120^{\circ}\text{C}$ であれば、800A弱まで

# 変換器運転がケーブルに与える影響



**軽量化のため、各変換器のコンデンサ容量を減らしたい  
(コンデンサの重量・体積が大きい)**

運転状態の変化によって、コンデンサ間を流れる電流が発生  
発電機とモータの回転数が違う事の影響

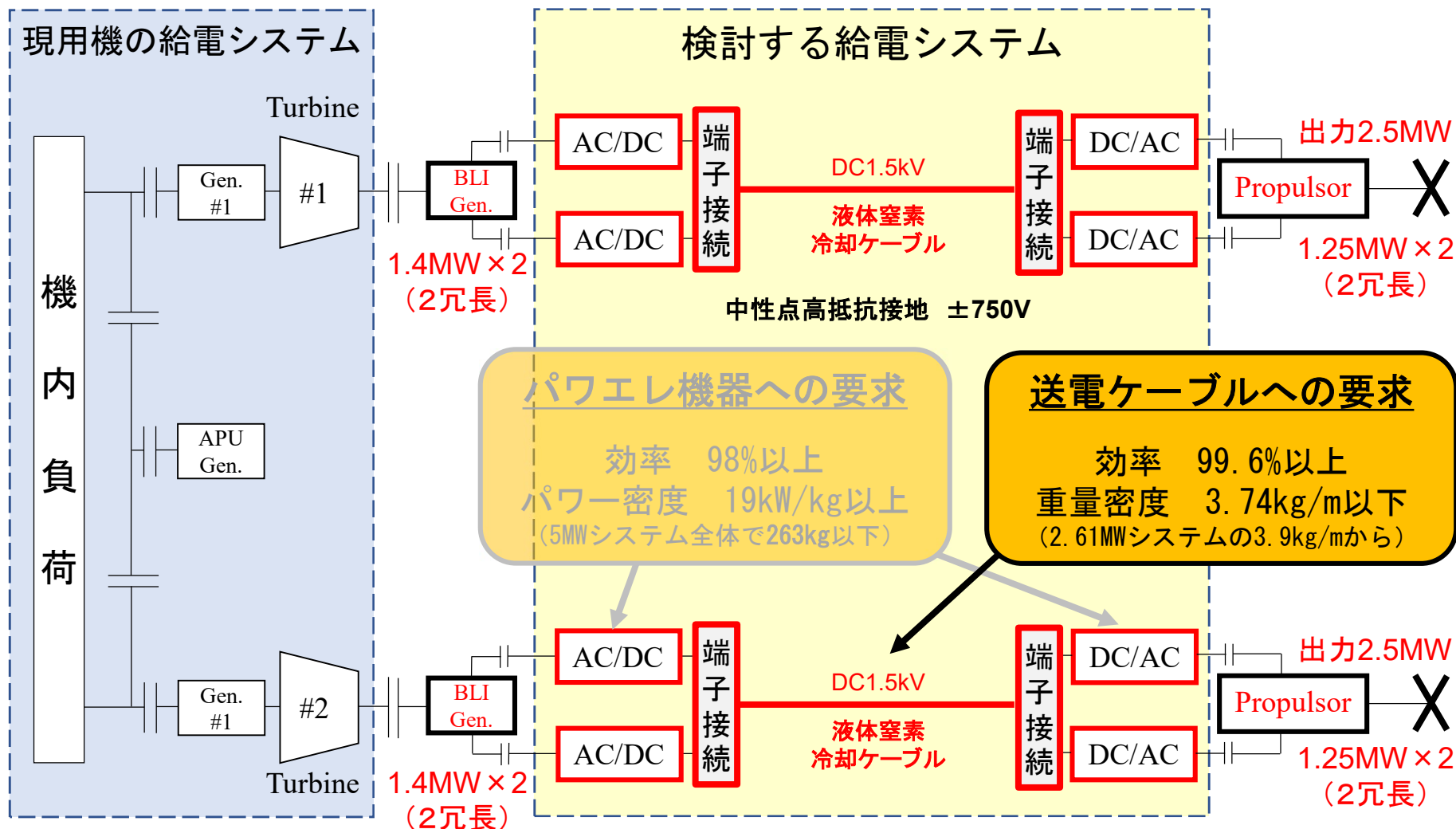
コンデンサ容量とケーブルを流れるリプル電流の関係



ケーブルの等価回路定数も踏まえた検討が必要  
システム全体での設計から決定をする必要がある

# 検討する電化航空機の給電システム

【先導研究】1.2kV素子を使ったDC0.6kVシステムで原理検証 ⇒ DC1.5kVシステム的设计に反映



BLI : Boundary Layer Ingestion

# R300で曲げたケーブル



超電導線には、歪みによる  
通電性能劣化の懸念がある

## R300の曲げ試験

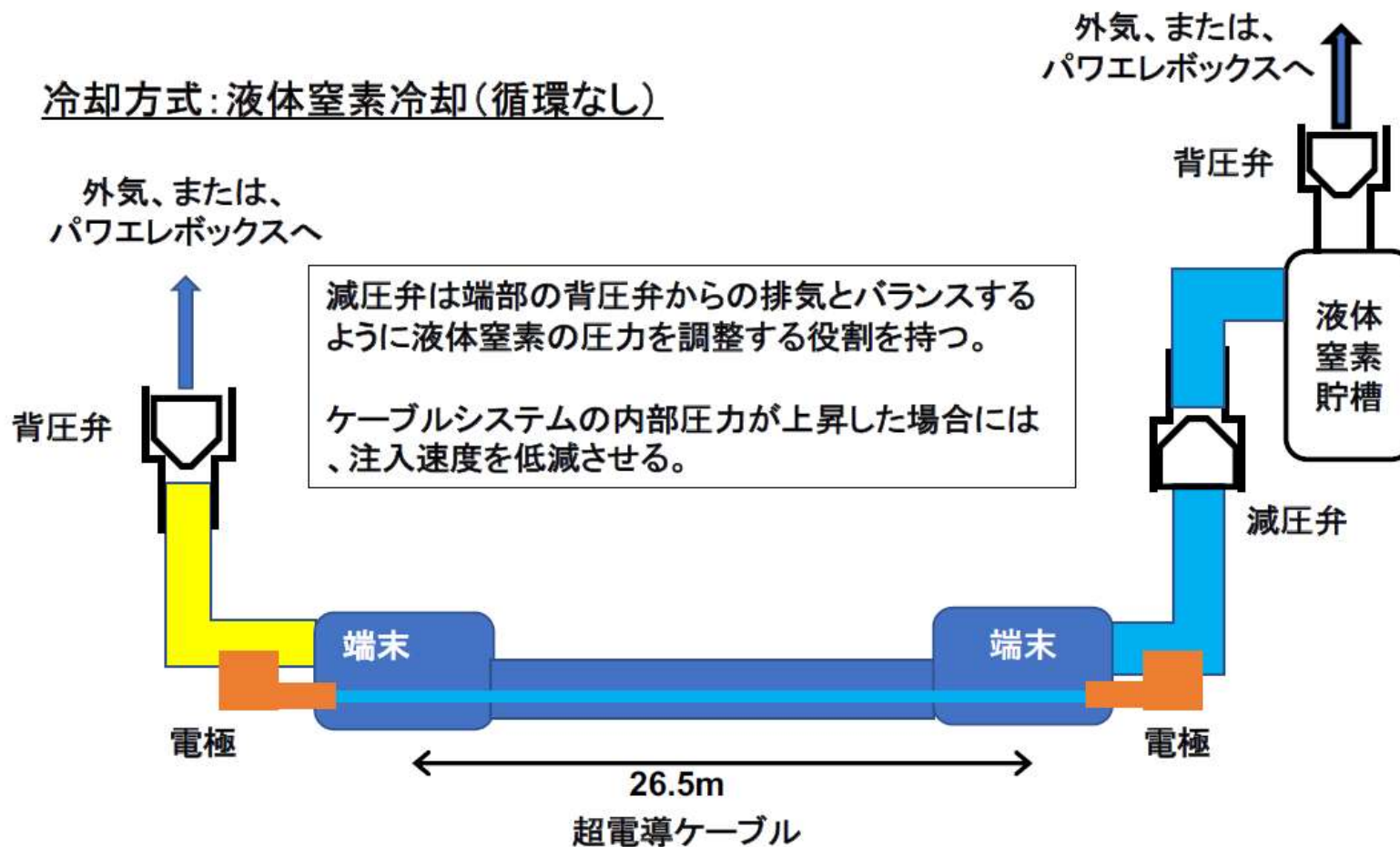
通電試験により、曲げの前  
後で通電性能の劣化は生じ  
ていない事を確認



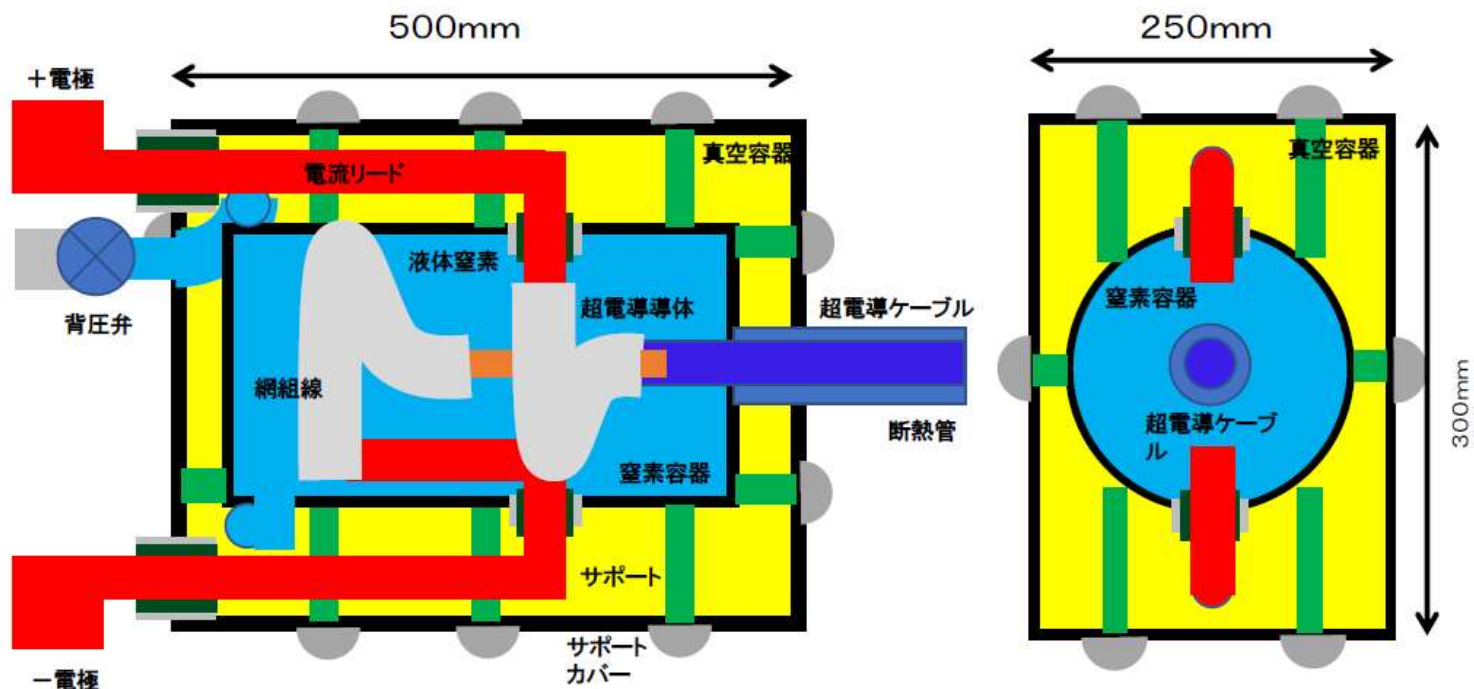
超電導線の性能劣化を  
起こさずに敷設が可能

# 冷却システムの概念設計

冷却方式: 液体窒素冷却(循環なし)



# 冷却ケーブルの端末設計



## 設計結果

### 要注意点

振動による固定部分への応力集中

熱収縮を吸収する網組線の設計最適化

AIパワーリードの場合の接続方法(真空層貫通ブッシングを含む)

# 給電システム検討のまとめ

- 1. 2kV SiC変換器（ミニモデル）の試験  
設計条件の妥当性を確認（効率目標は達成）  
→ DCコンデンサと冷却機構の軽量化設計が必要
- 3. 3kV SiCパワーモジュールの設計  
SiCチップの仕様からモジュール構造案を提示  
定常熱解析 → 冷媒温度との関係を整理  
\* 冷却に大きな問題は無いと考えられる
- 発電機や推進用モータとの仕様調整  
相数、並列数、回転数、電圧・電流定格  
過負荷条件の明確化

次フェーズで  
3. 3kV素子で  
の試作・評価  
を検討

次フェーズで  
試作と評価を  
実施



# 航空機適用に向けたパワエレ機器の課題

- コンデンサ、冷却部品の**最適設計**
- 発電機、推進用モータとの**仕様調整**
- 変換器の**ノイズ**（高調波）**対策**
- 部品類の**環境対応**（低温、低気圧等）  
パワーモジュール、ヒューズ、直流コンデンサ、  
大電力用コネクタ、…の性能把握  
ディレーティング条件の明確化
- SiCパワー素子の**耐放射線性能**  
5000m級の経験までしかない

軽量化への影響  
が大きいが、  
パワエレの  
都合だけでは  
決定できない



システム全体から  
の考慮が必要

地上設備として  
は十分な実績を  
有するが、  
高空での利用  
実績が無い

ご視察、有り難うございました。

## 関連情報

- ・ 産業技術総合研究所 (AIST)  
<http://www.aist.go.jp>
- ・ 先進パワーエレクトロニクス研究センター (ADPERC)  
<https://unit.aist.go.jp/adperc/ci/index.html>
- ・ つくばイノベーションアリーナ (TIA)  
<https://www.tia-nano.jp/>
- ・ つくばパワーエレクトロニクスコンステレーション (TPEC)  
<https://www.tia-nano.jp/tpec/>
- ・ SIPプロジェクト  
<http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/>