


航空機電動化コンソーシアム  
ECLAIR 第3回オープンフォーラム

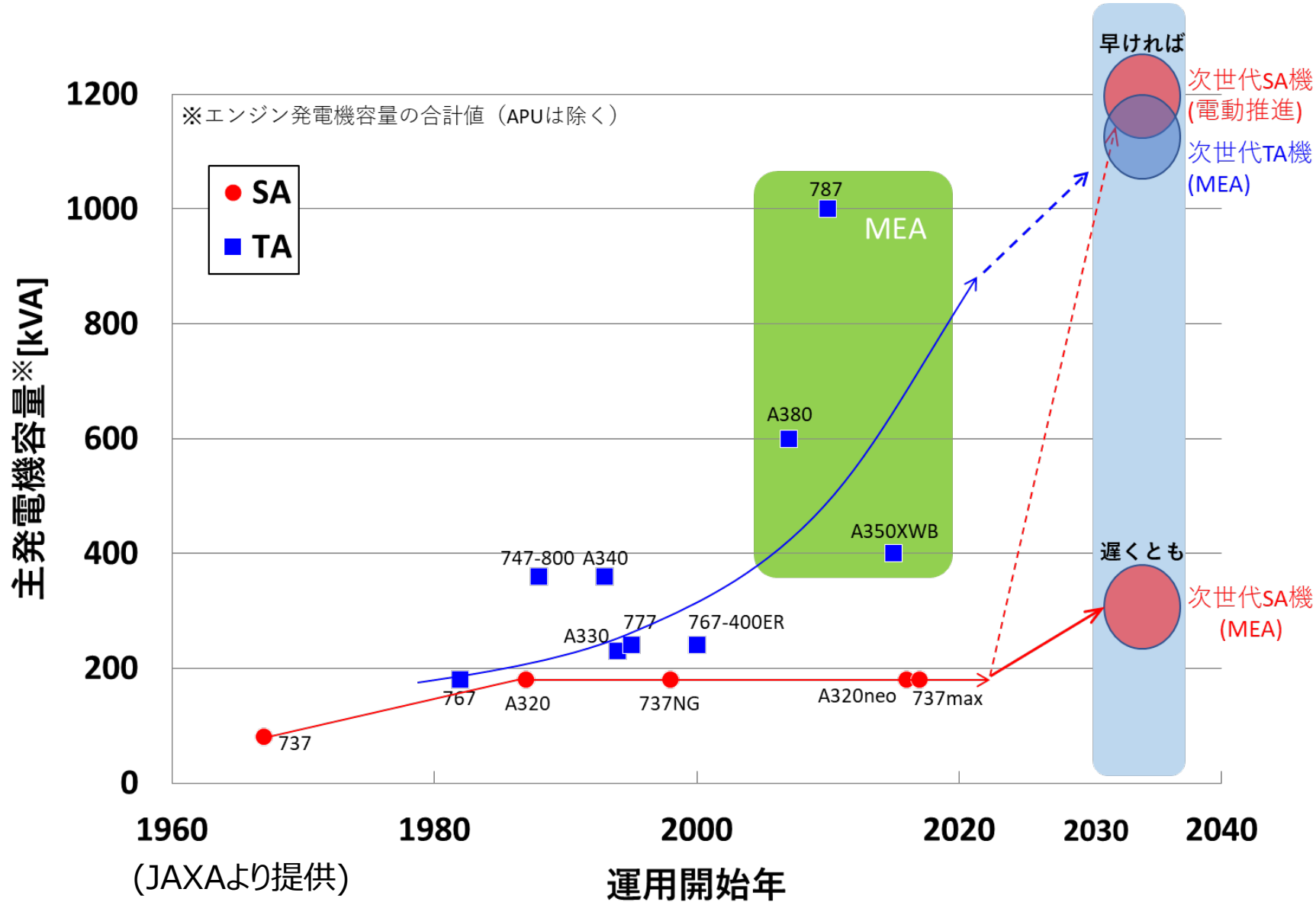
# 高高度環境適応 電力変換・配電システム

2020年 10月 26日 (月)

三菱電機株式会社 先端技術総合研究所  
福本 久敏

- 
- **航空機電機システムの大容量・高電圧化の動向**
  - **ECLAIRコンソーシアムサブグループ  
「高高度環境適応 電力変換・配電システム」の紹介**
  - **課題の整理**
    - **配電電圧**
    - **回路保護（遮断）**

# 航空機電機システムの大容量化の動向



航空機装備品の大容量化に加え、今後、推進システムの電動化も進展する見込み

MW級の電力システムの要望が高まっている

SAE AIR7502

WIP 2020-01-21~

## Aerospace Electrical Voltage Level Definitions

(航空宇宙電圧レベルの定義)

It is the expectation that for electric propulsion even higher voltages in the range of 1 - 3 kV and higher are needed. The introduction of hybrid or electrical propulsion, will also affect the system architecture of the electrical power system. This report shall set forth the aerospace voltage level definitions.

**電気推進には、1~3kV かそれ以上の高電圧が必要になると予想されている。ハイブリッド推進や電気推進の導入は、電力システムのシステムアーキテクチャにも影響を与える。本報告書では、航空宇宙用の電圧レベルの定義を定めるものとする。**

AIR: Aerospace Information Report  
WIP: Work In Progress

<https://www.sae.org/standards/content/air7502/>

## サブグループ名称 「高高度環境適応 電力変換・配電システム」

**目的：** 航空機電動化の主要課題である、高高度環境でかつ高電圧で運用可能な電力変換および配電保護システムの技術検討を実施する。

**期間：** 2020年6月 ～2021年3月

○ **三菱電機株式会社**（とりまとめ）

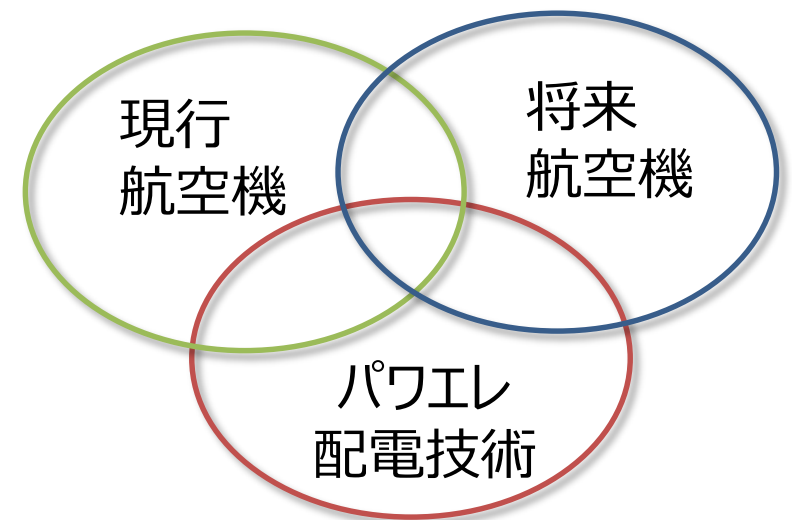
電力変換および配電システム（電力変換器（インバータ、コンバータ）、開閉器、遮断器）

・ **国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）**

将来電動航空機的设计、信頼性評価技術

・ **川崎重工業株式会社**

現行航空機の配電システム設計および実装



# ECLAIRサブグループの活動内容

**実施内容：** 1000V以上、MWクラス（目標）の航空機電動化向け電力変換器および配電保護システムの課題抽出と実証のための計画立案を行う。

① 電力遮断技術

- ・高電圧、大容量、低気圧でのコンタクト、遮断器の調査、検討
- ・保護協調技術検討    ・電力変換器との協調制御検討

② 電力変換技術

- ・変換器保護動作の検討    ・変換器の課題抽出

③ 電動航空機システム技術検討、④ 航空機配電システムインテグレーション技術

- ・現行システムと将来電動化システム方式に関する情報収集・分析
- ・ACおよびDCの選択、最適電圧の検討
- ・航空機搭載システムインテグレーション技術検討（最適化、サーマルマネージメント含む）

⑤ 航空機規格・認証対応、⑥ 環境試験技術

- ・規格・標準化動向調査    ・故障現象把握、試験環境装置・試験方法（調査・分析も含む）

**成果予定：** 高電圧対応の電力変換と配電保護システムを検討し、将来のプロジェクト検討に向け、課題を整理する。

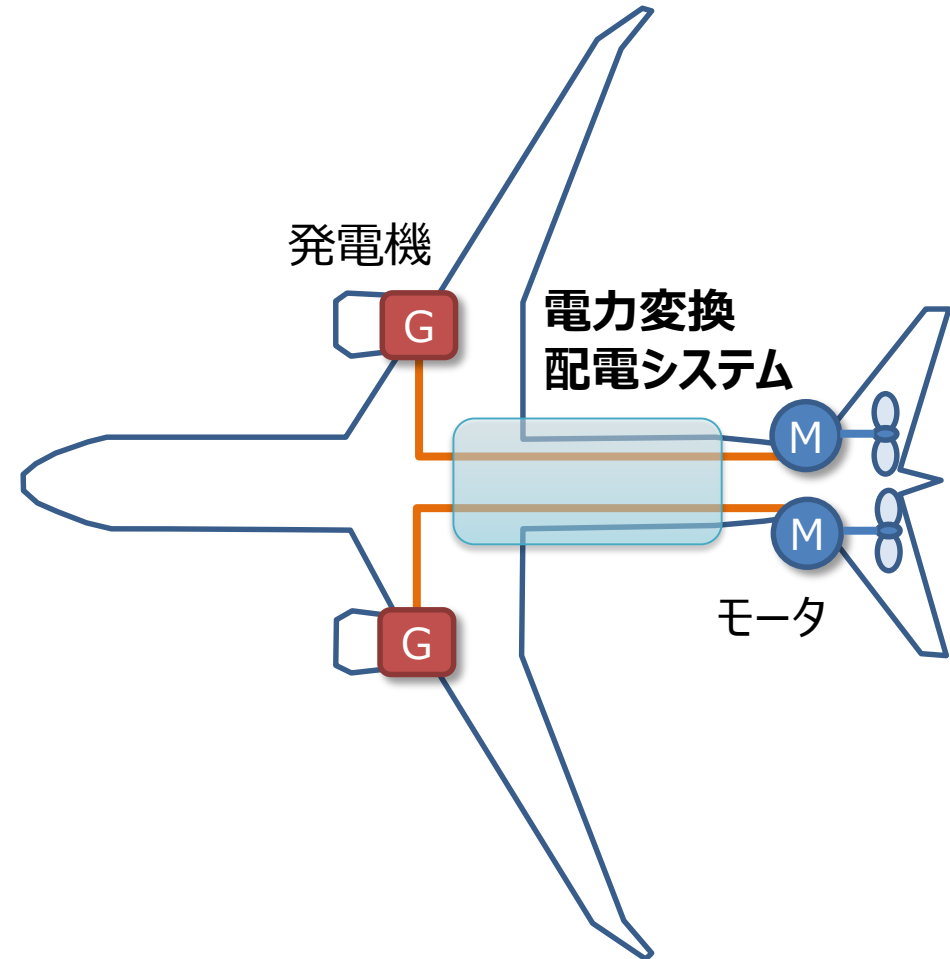
# サブグループの検討対象

## 対象システム：BLIハイブリッド航空機の電機システム

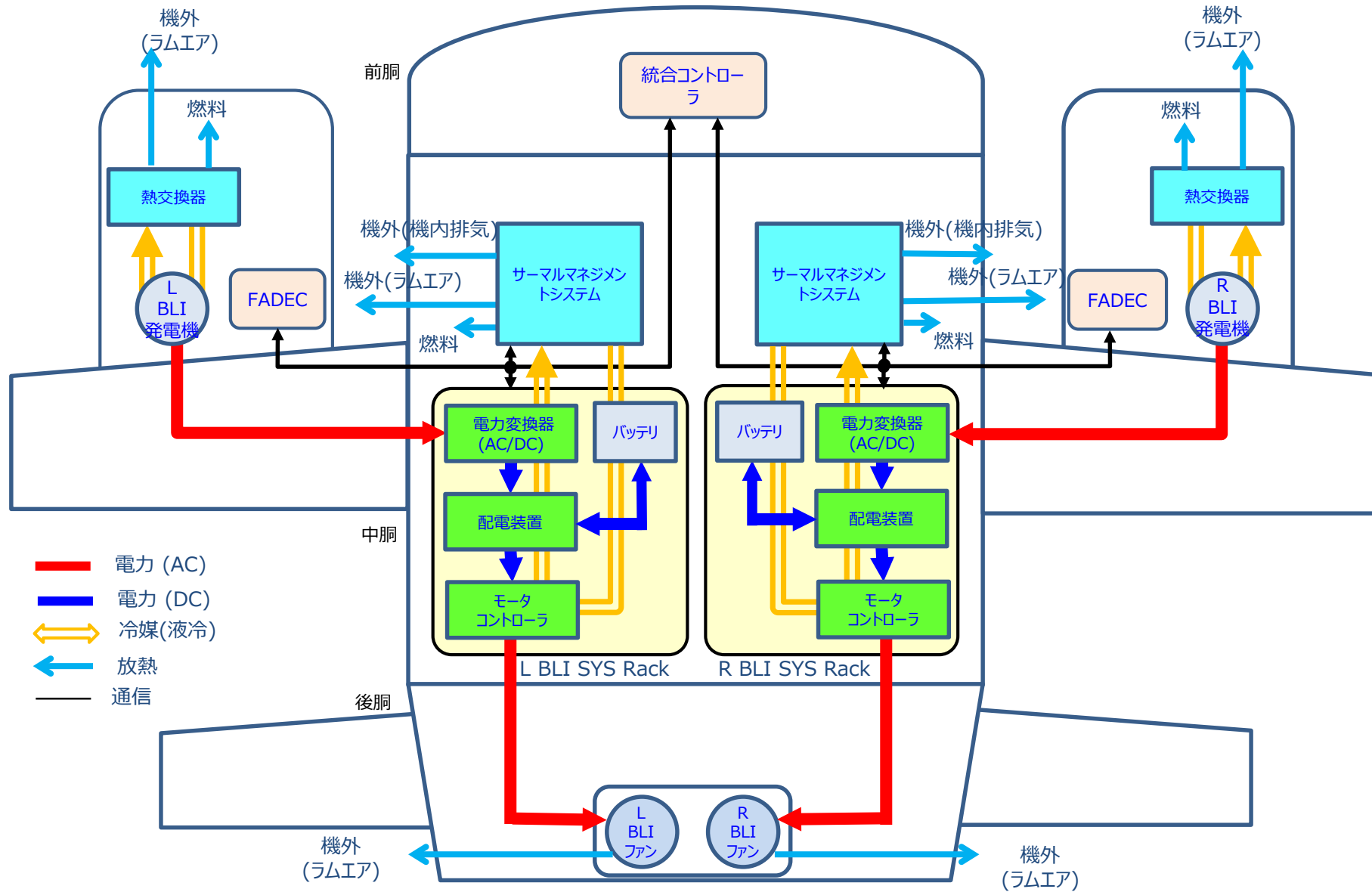
ECLAIRコンソーシアム 技術開発グループ 共通基盤システムサブグループにて検討中の  
TRA (Technology Reference Aircraft)をベースに検討



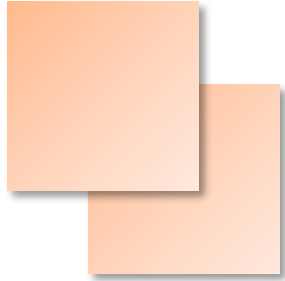
(出典：JADC)



# BLIシステムの構成例







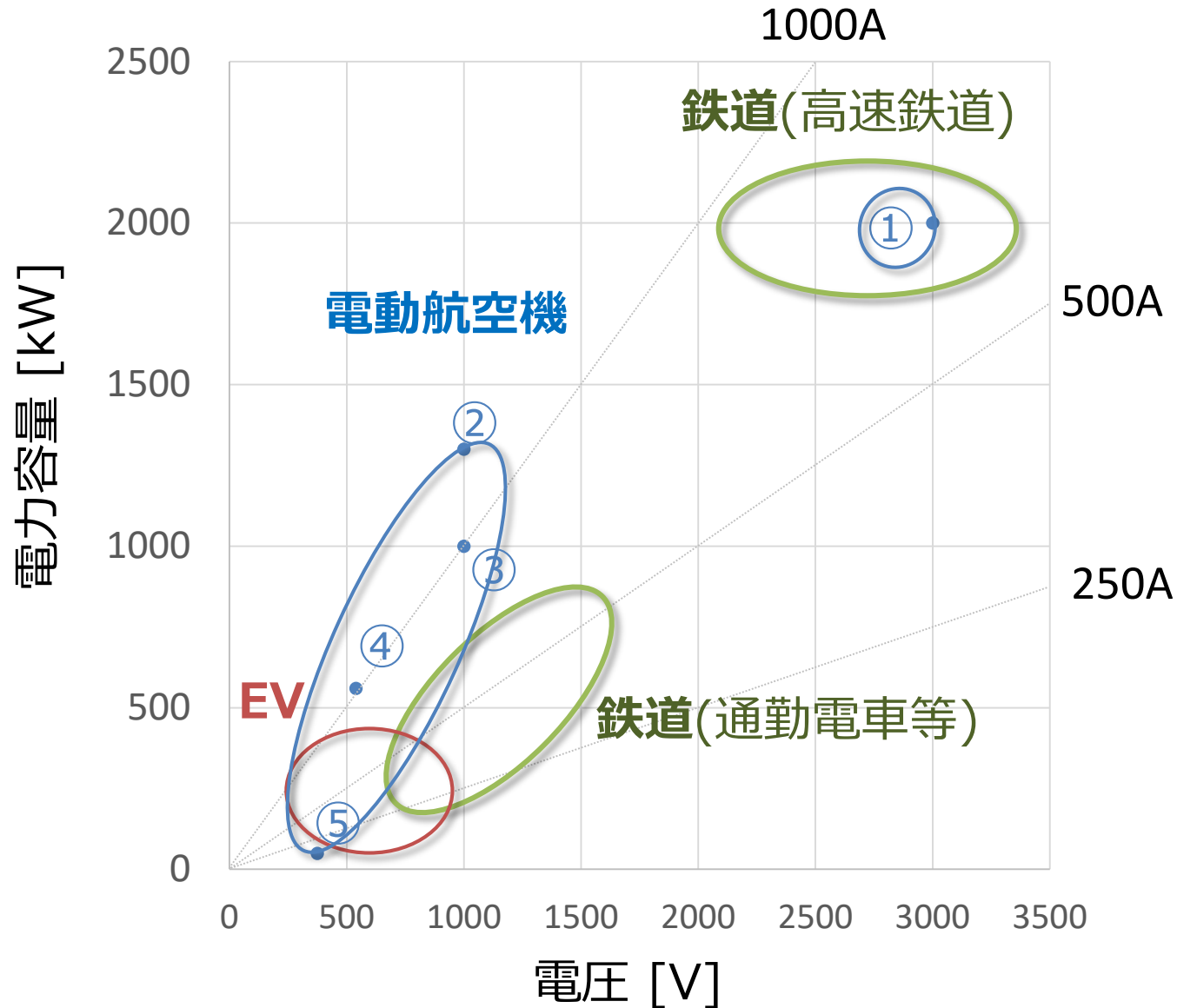
- 配電方式 (AC, DC)
- 配電電圧の設定
- 回路保護 (遮断器、開閉器)
- 機器配置、設置場所
- 雷、サージ対策
- 低気圧、低温
- 宇宙線対策
- 絶縁・部分放電抑制
- 軽量化

など

# 航空機の電力容量 と 配電電圧

	従来機	MEA	ハイブリッド機
電力容量 (出力)	～ 数百kW	1MW前後	数MW ～
配電電圧	AC 115V 400Hz DC 28V	AC 230V 可変周波数 DC 540V (±270V) AC115V DC 28V	AC ? DC ? AC 115V DC 28V
運用開始	1958年 ～ (DC-8)	2010年 ～ (B787)	2030年代 ? ～

# 各種モビリティの 電力容量 と 配電電圧 の比較

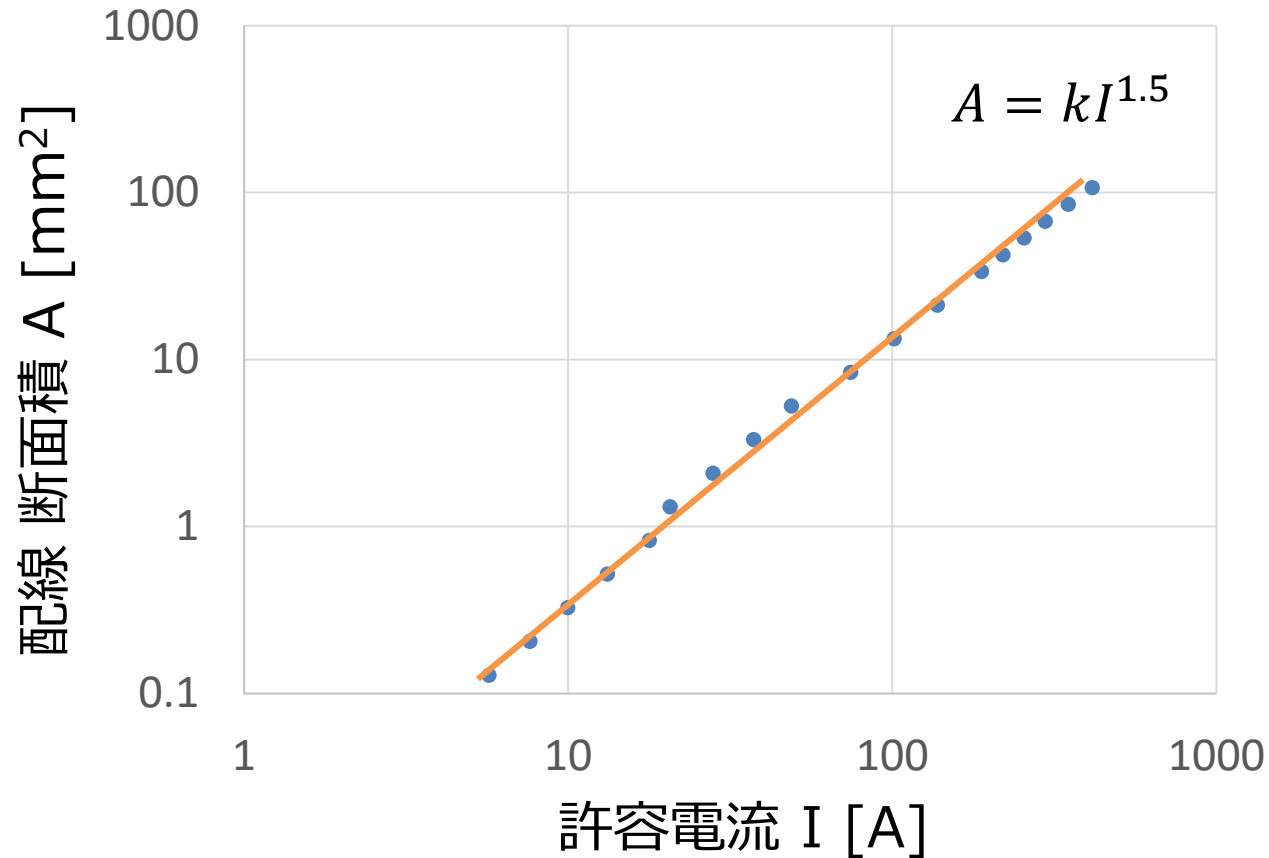


## 電動航空機

①Airbus e-Fan X	2MW	3000 V DC
②NASA STARC-ABL	1.3MW	1000 V DC
③Raytheon Project 804	1MW	1000 V DC
④magniX magni500	560kW	540 V DC
⑤Pipistrel Velis Electro	50kW	375 V DC

航空機の電機システムは、他のモビリティと比較して大電流での運用が想定されている

# 電流と配線断面積の関係



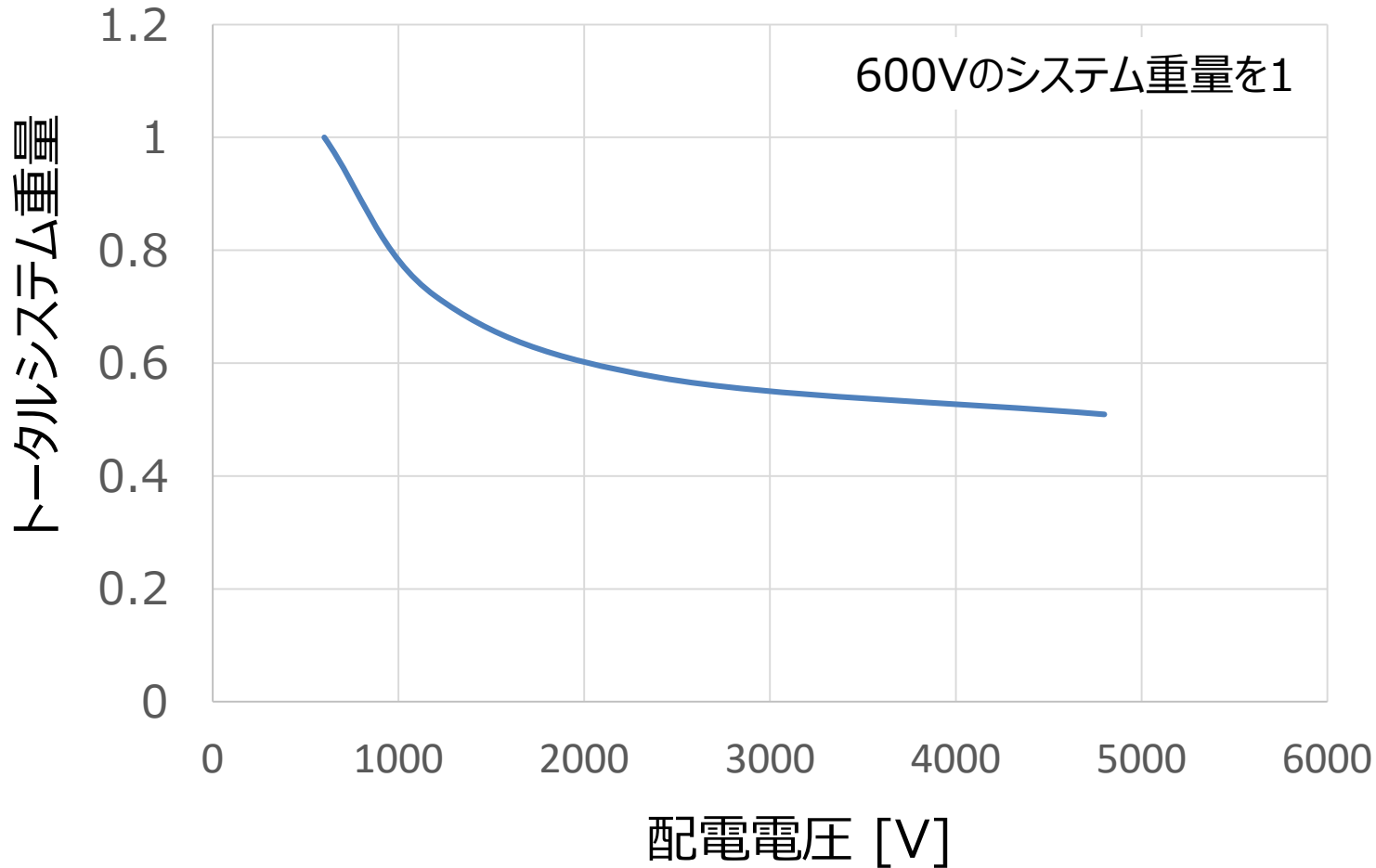
配線断面積 ( $\infty$ 重量) は許容電流の約1.5乗に比例

**低電流化 = 高電圧化 は、配線重量の低減に有効**

高度	30000 ft	ハーネス	3線/束
周囲温度	20℃	配線許容温度	150℃

参考 SAE AS50881G "Wiring Aerospace Vehicle"  
<https://www.sae.org/standards/content/as50881g/>

# 配電電圧 と システム重量 の関係



高電圧 → 電流小、損失小

電線径	小
機器サイズ	小



高電圧 → 絶縁距離大

電線被覆厚	大
機器サイズ	大

- ・高電圧ほど重量削減の効果は小
- ・高高度、低気圧環境では、地上より絶縁の難易度が高

**適切な電圧設定が重要**

参考

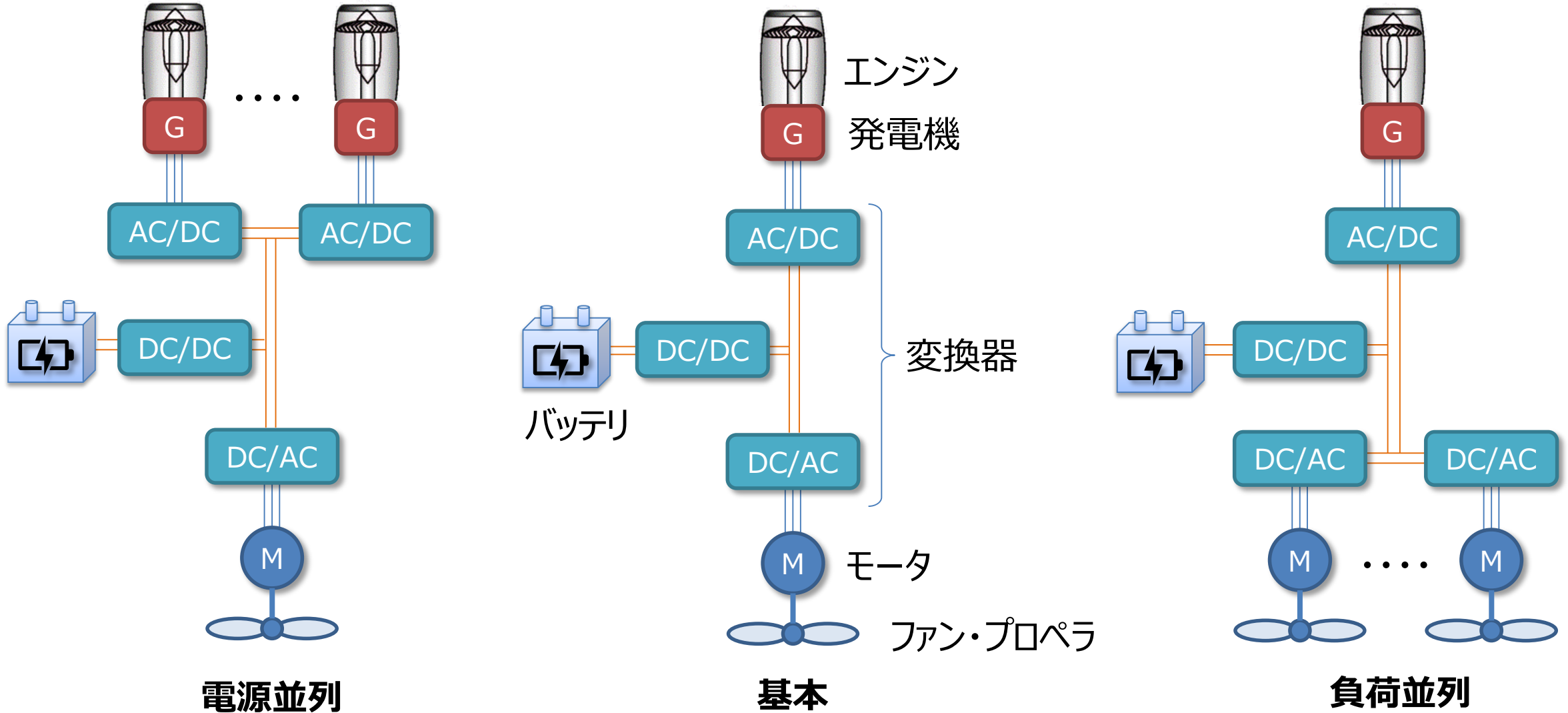
<https://www.grc.nasa.gov/vine/wp-content/uploads/sites/91/Rodger-Dyson-NASA-Hybrid-Electric-Aircraft-Propulsion-10-4-2017-FULL.pdf>

# 回路保護デバイス(CPD)の重要性

機体を重大、危険、または破局的な状況に至らせないために、故障部分のCPDによる回路切断が必須。  
さらに、正常な部分（故障部分以外）の運航継続も求められる。

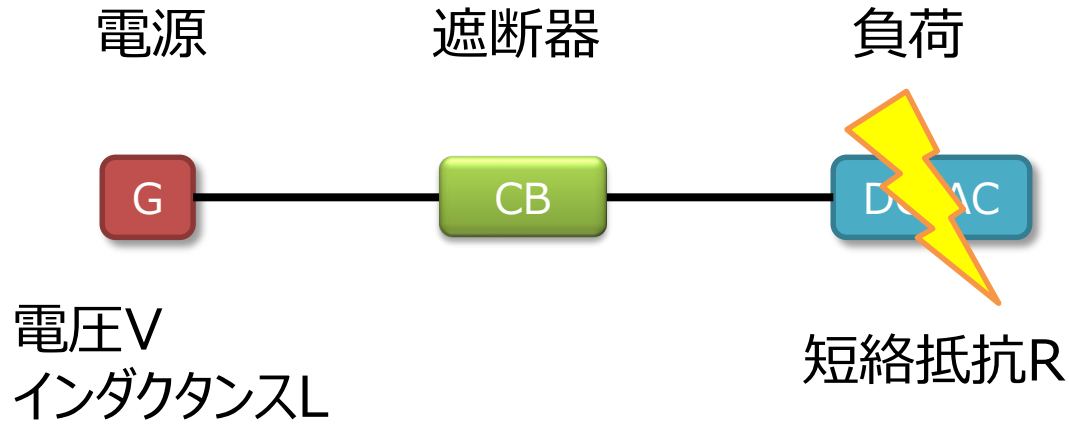
不具合の程度	状況
<b>Major</b> <b>重大</b> $< 10^{-5}/hr$	以下のような程度に、航空機的能力または運航乗務員の悪条件への対応能力を低下させるような故障。 (例) <ul style="list-style-type: none"> <li>- 安全マージンや機能能力の有意な低下。</li> <li>- 乗務員の作業負荷の有意な増加、または乗務員の効率を損なう状況。</li> <li>- 乗務員に不快感を与える。</li> <li>- 乗客や客室乗務員に身体的苦痛を与えることがあり、怪我を含む可能性がある。</li> </ul>
<b>Hazardous</b> <b>危険</b> $< 10^{-7}/hr$	航空機的能力や乗務員の悪条件への対応能力を低下させるような故障。 (例) <ul style="list-style-type: none"> <li>- 安全マージンや機能能力の大幅な低下。</li> <li>- 乗務員が正確または完全に任務を遂行することができないような身体的苦痛または過大な作業負荷。</li> <li>- 乗務員以外の比較的少数の者に対する重篤または致命的な負傷。</li> </ul>
<b>Catastrophic</b> <b>破局的</b> $< 10^{-9}/hr$	複数の死亡事故を生じる故障。機体の損失を伴うことが多い。

# 回路保護の検討対象とする配電システム



システムの機器構成、事故発生個所により保護の考え方は変わる  
 あらゆる不具合を想定し、安全性を確保しつつシンプルな保護構築が重要

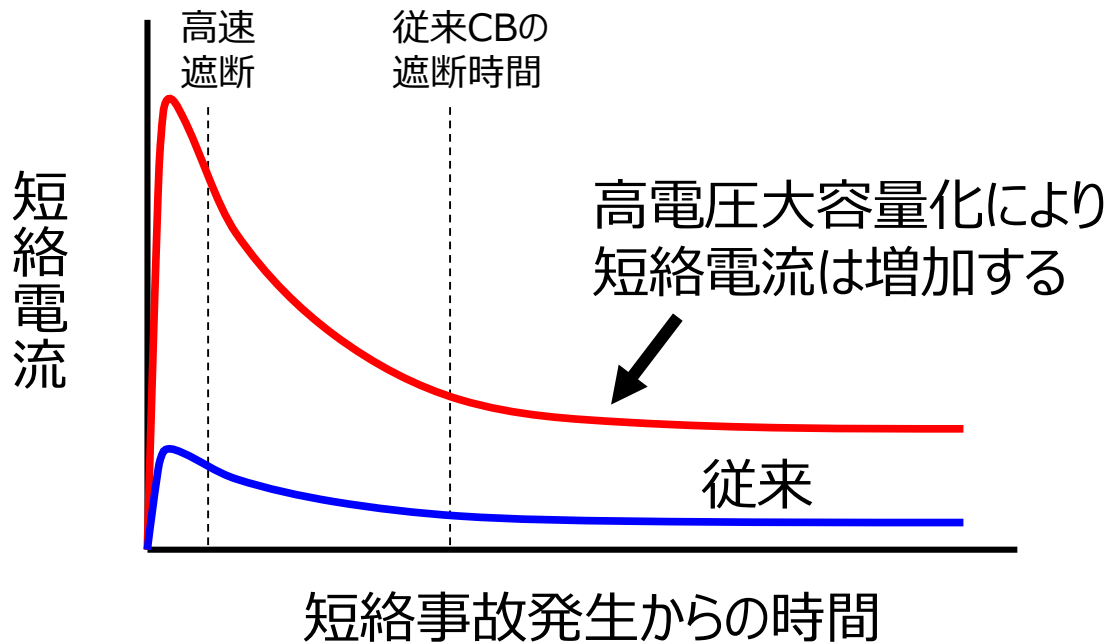
# 高速遮断の重要性



短絡部のジュール熱  $I^2t$  に比例 **＝** 時間が長いほどダメージ大

各機器および配線は、遮断までの短絡に耐える設計が要求される

高速遮断は、システム全体の機器サイズ・重量の抑制に大きく貢献。

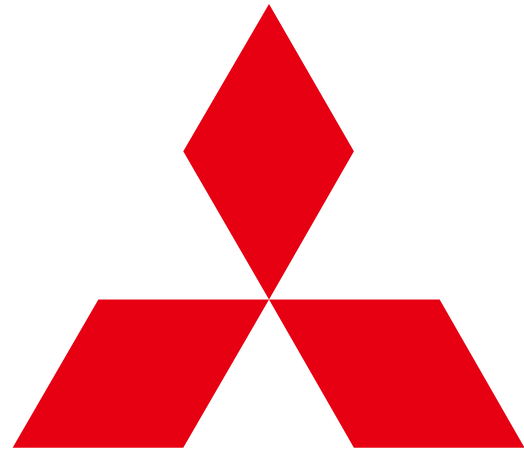


		遮断速度	導通抵抗
高速	↑	半導体CB 数百μ秒	やや高
		ハイブリッドCB 数m秒	低
		機械式CB 数十m秒	低
低速	↓	サーマルCB ～1秒	低



## まとめ

- ・航空機の電動化進展にともない、大容量(MW級)、高電圧(1000V~)の電機システムの要望が高まっている。
- ・ECLAIRコンソーシアムにて、技術開発サブグループ「高高度環境適応 電力変換・配電システム」の活動を開始。
- ・サブグループでは、BLIシステムを題材に、システム構成、電圧、回路保護について議論。
- ・大容量・高電圧の電機システムでは、遮断技術が重要となる。  
高速遮断は、安全性の向上に加え、機器サイズ・重量の抑制に効果大きい。



**MITSUBISHI  
ELECTRIC**

*Changes for the Better*