

長距離海底直流送電の整備に向けた検討会
- 直流送電システムを構成する技術（交直変換器） -

20年4月30日

【発表内容】

1. 当社直流送電システムの紹介
2. 海外事業に対する国内事業の製品単価水準の見通し
3. 単価低減の為に必要な方策や環境

【発表内容】

1. 当社直流送電システムの紹介
2. 海外事業に対する国内事業の製品単価水準の見通し
3. 単価低減の為に必要な方策や環境

事業紹介

重電システム

- **電力システム**
発電システム、変電システム、電力流通システム、受配電システム等
- **交通システム**
鉄道車両用インバータ、主電動機、
トレインビジョン、列車無線システム
鉄道車両用空調装置、信号システム、
列車統合管理システム、
列車運行管理システム等
- **ビルシステム**
エレベーター、エスカレーター、
ビルマネジメントシステム等
- **公共システム**
水環境システム、防災システム、
光通信システム、無線通信システム等
- **映像監視システム**
ネットワークカメラ／映像解析システム等

産業メカトロニクス

- **FAシステム**
シーケンサ、ACサーボ、数値制御装置、
産業用ロボット、レーザー加工機、配制御器等
- **自動車機器**
エンジン電装品、エンジン制御製品、
EPS用モータ・制御製品、カーマルチメディア、
電動パワートレインシステム、予防安全／自動運転製品等

事業群

情報通信システム

- **宇宙システム**
人工衛星、管制局、衛星通信システム等
- **防衛システム**
レーダ装置、アンテナ等
- **ITソリューション**
金融業向けネットワークセキュリティ等

電子デバイス

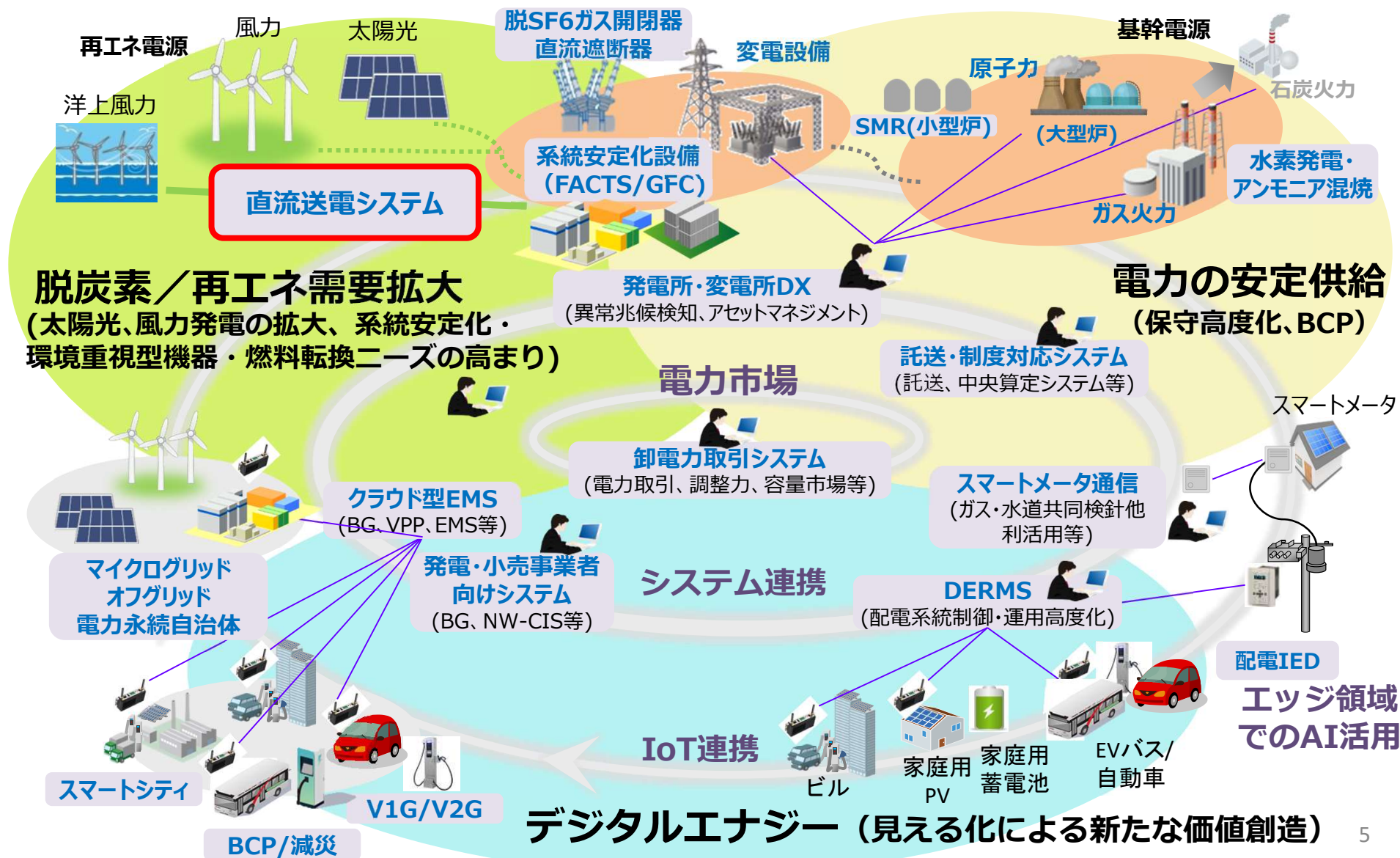
- **パワーデバイス**
SiCモジュール、IGBTモジュール等
- **高周波・光デバイス**
GaN高周波デバイス、GaAs高周波
デバイス、光通信用デバイス等
- **TFT液晶モジュール**

家庭電器

- **空調冷熱システム**
ルームエアコン、パッケージエアコン、
ビル用マルチエアコン、ロスナイ換気
システム、チラー等
- **住宅設備**
換気・給湯・照明機器、スマート電化等
- **キッチン家電・生活家電**

*EPS: Electric Power Steering, SiC: Silicon Carbide, IGBT: Insulated Gate Bipolar Transistor,
GaN: Gallium Nitride, GaAs: Gallium Arsenide, TFT: Thin Film Transistor

電力システム事業紹介



直流送電システム事業 ご紹介

豊富な納入実績を有し、安定供給が可能な電力変換システム（直流送電システム含む）

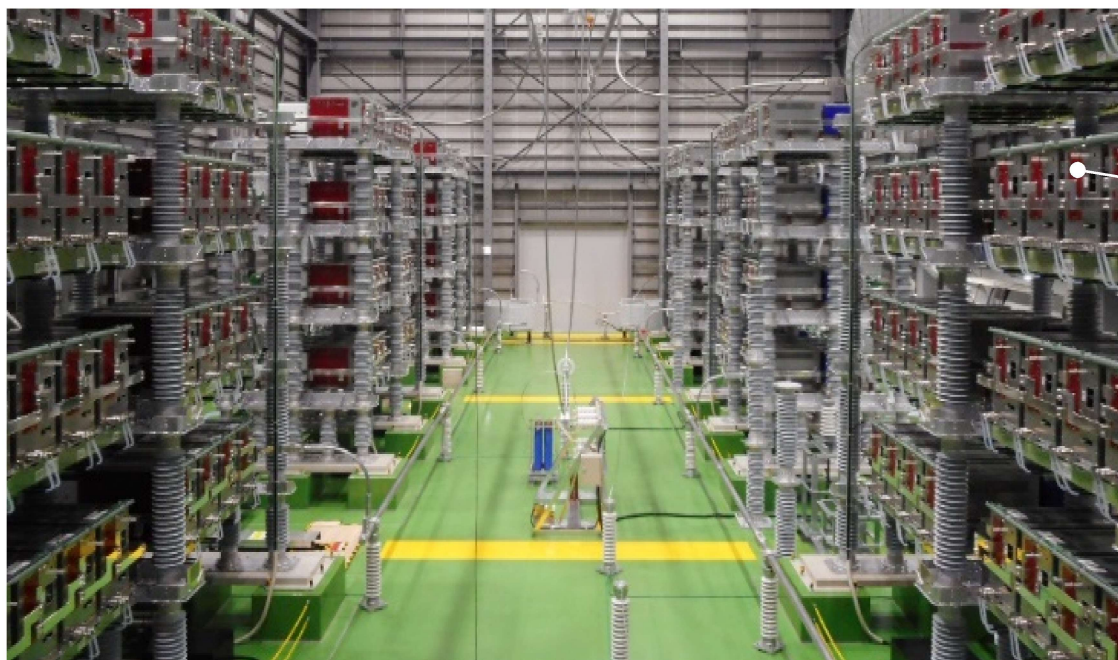
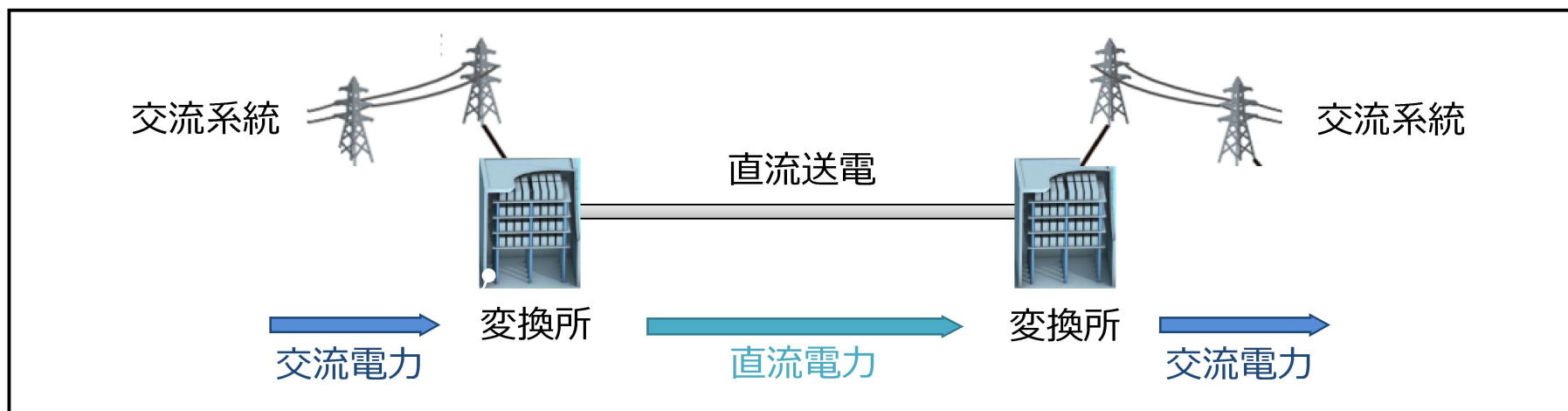
- コア技術である自社製パワー半導体・交直変換器を含め、国内製造/調達により安定供給を実現
- 全国にアフターサービス拠点を保有しており、緊急時の迅速な対応を実現
- 豊富な実績に基づく交直変換器設計・制御技術、エンジニアリング技術を提供
- 系統解析技術を活用し、系統課題を解決する最適な電力変換システムの提案が可能

将来に向けた開発

- 次世代素子を適用した高効率/コンパクトな交直変換器
- 多端子直流送電システム適用の制御保護、直流遮断器



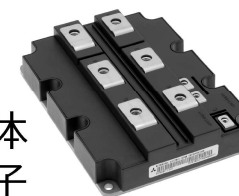
直流送電システム 概要



交直変換器



サブモジュール



パワー半導体
素子

製造拠点紹介

- ✓ 当社グループ内で主要機器の開発・エンジニアリング・製造・保守を**一気通貫**で実現
- ✓ **緊急時の迅速な対応/ナショナルセキュリティ/品質維持**に有効

★神戸地区

- ▶ 電力系統技術プロジェクトグループ
 - ✓ **直流送電システムエンジニアリング**
 - ✓ 系統解析
 - ✓ 制御・保護システム
- ▶ TMEIC: 東芝三菱電機産業システム
 - ✓ **交直変換器**



伊丹地区

- ▶ 直流送電システム検証設備
- ▶ 開閉装置
- ▶ 研究所, 電力試験設備, 環境試験



パワーデバイス製作所

- ▶ **パワー半導体素子**

受配電システム製作所

- ▶ 配電機器

多田電機

- ▶ 冷却装置

赤穂地区

- ▶ 変圧器
- ▶ 超高圧試験設備



アフターサービス・保守拠点紹介

- ✓ 電気事業者様が定められた**保安規定に沿った保守対応**を実施します
(機器の信頼度維持、点検周期/項目、予備品)
- ✓ 電気関係報告規則に定める主要電気工作物の破損事故に対し、**期限内での対応**を実施

- 地域に密着したきめ細かなサービスを提供する全国ネットワークを構築。
- トラブル発生時には全国の対応拠点からの迅速な対応により状況把握、原因究明、予備確保・手配、短期間での復旧および再発防止対策を実施。
- 国内の電力事業に適した機器の信頼度を維持するため、点検周期、点検項目および必要な予備品などについて、実績と個別機器の特性を考慮し提案。



【発表内容】

1. 当社直流送電システムの紹介
2. 海外事業に対する国内事業の製品単価水準の見通し
3. 単価低減の為に必要な方策や環境

サマリー

- ✓ 海外メーカーとの導入時の製品単価水準に差が生じる要因には、2つの理由があると想定

品質水準の差

- ✓ 国内メーカーは、電力品質を重要視する国内において、**適切な製品単価を維持しつつ、品質を向上させることで、製品ライフサイクルを通じた全体**(停電時の経済損失含)**でのコスト低減を実現してきた。**
- ✓ **国内電力系統に求められる高信頼度と、メンテナンスの際に性能維持にコスト低減が図れる機器を提供してきた結果、国内外メーカーにおいて導入時の製品単価水準に差が生じていると想定。**
- ✓ 今後も、国内の産業活動を維持していくためには、電力品質維持は必須であると考える。

物量の差

- ✓ 欧米市場は多国間連携、洋上風力接続等のニーズから長距離直流送電の需要が**継続的に多い。**
- ✓ それにより、海外メーカーは購入物量をベースとした安価なサプライチェーン構築(自国内外)、計画的な設備投資が可能となり、**製品コスト低減を図っている**と想定。

以降のスライドで国内外における「品質水準の差」「物量差」について説明する。

サマリー

- ✓ 海外メーカーとの導入時の製品単価水準に差が生じる要因には、2つの理由があると想定

品質水準の差

- ✓ 国内メーカーは、電力品質を重要視する国内において、**適切な製品単価を維持しつつ、品質を向上させることで、製品ライフサイクルを通じた全体**(停電時の経済損失含)**でのコスト低減を実現してきた。**
- ✓ **国内電力系統に求められる高信頼度と、メンテナンスの際に性能維持にコスト低減が図れる機器を提供してきた結果、国内外メーカーにおいて導入時の製品単価水準に差が生じていると想定。**
- ✓ 今後も、国内の産業活動を維持していくためには、電力品質維持は必須であると考える。

物量の差

- ✓ 欧米市場は多国間連携、洋上風力接続等のニーズから長距離直流送電の需要が**継続的に多い。**
- ✓ それにより、海外メーカーは購入物量をベースとした安価なサプライチェーン構築(自国内外)、計画的な設備投資が可能となり、**製品コスト低減を図っていると想定。**

以降のスライドで国内外における「品質水準の差」「物量差」について説明する。

品質水準の差(停電比較)

- ✓ 国内は電力大量消費国にも関わらず、世界で最も停電時間が短い為、**電力品質が高く、産業全体の経済性/品質向上に貢献**
- ✓ 停電時間が短いのは、**国内の有用取り組みである「品質管理サークル」にて実現**(次頁説明)

欧米諸国と国内の停電時間比較 (年間の停電時間)

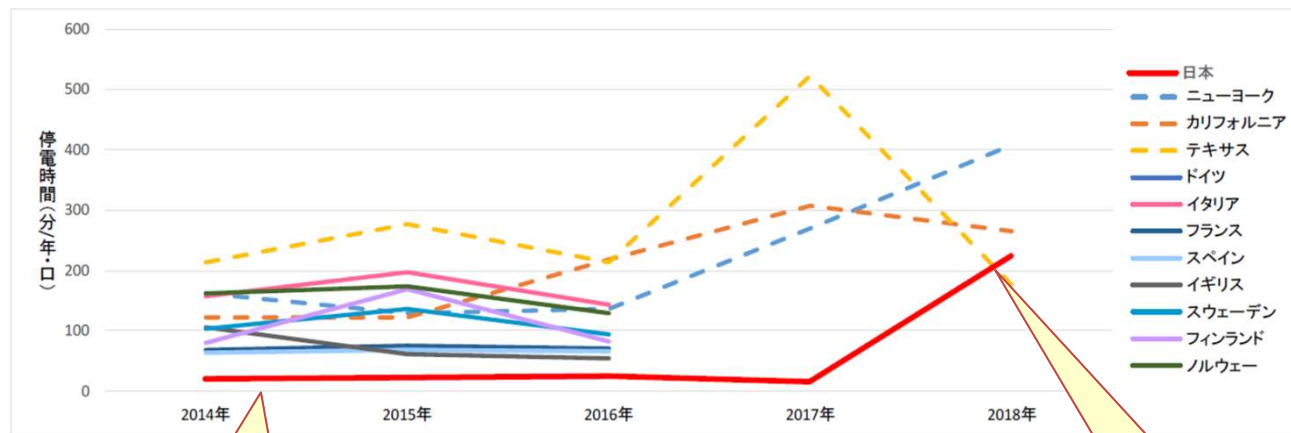
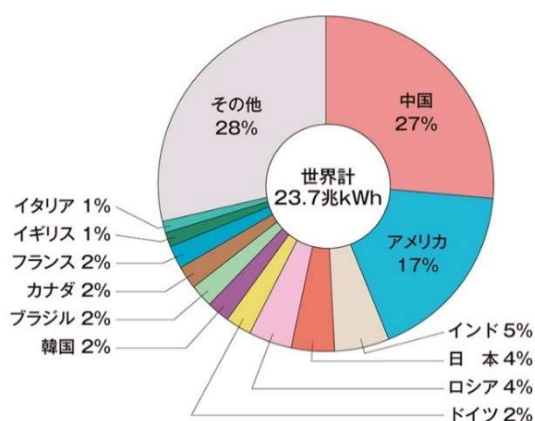


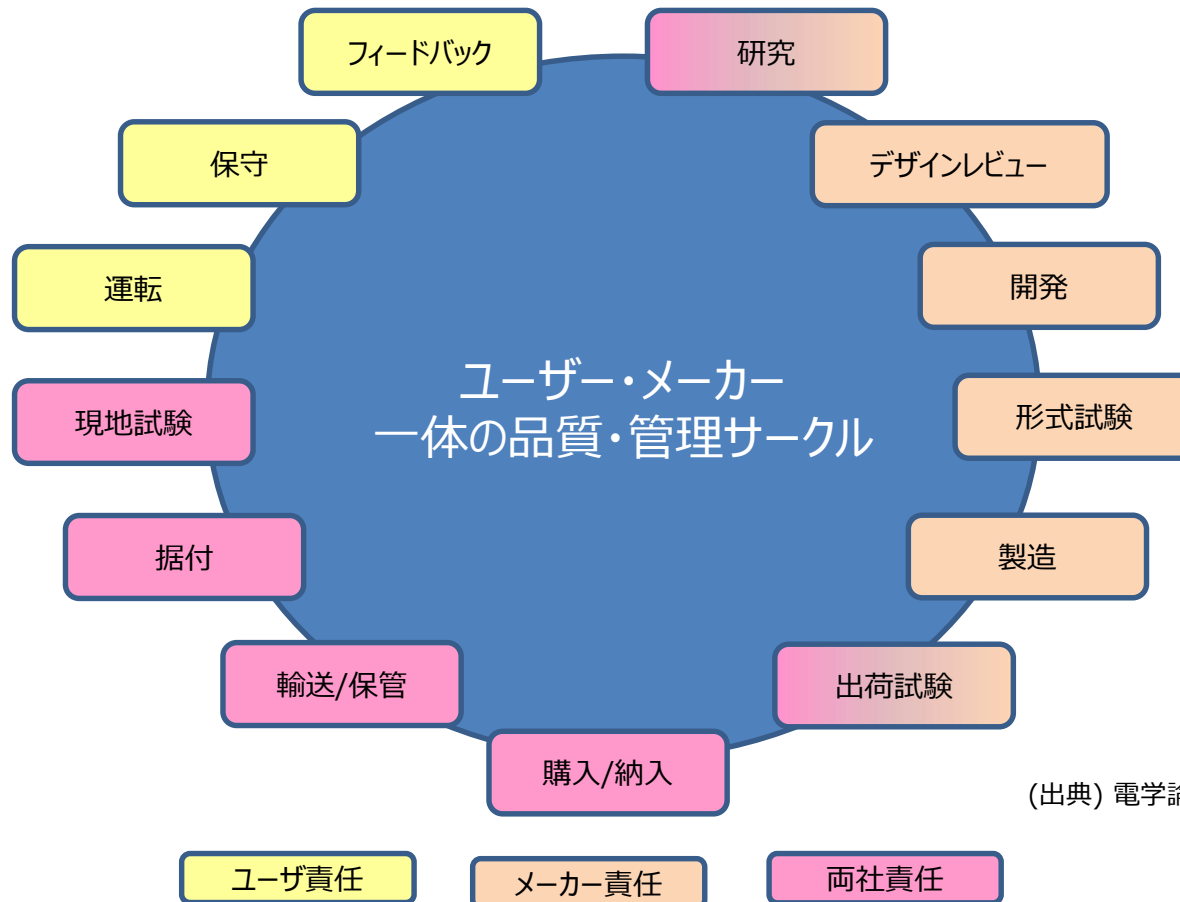
図33 (2014~2018年)欧米諸国と日本における需要家停電時間

欧米先進国と比較し
短い停電時間

北海道胆振地方東部地震によるブラックアウト、
台風30号・西国内豪雨による事故停電が影響

品質水準の差(品質管理サークル)

- ✓ 昭和50年代より点検時データ、実故障・系統障害等について国内ユーザー・メーカーが協力関係のもと、技術のフィードバックシステムを確立した(品質管理サークル)
- ✓ 結果、**国内規格と守るべき指針、最適な保守要件を構築している**(次頁説明)



(出典) 電学論B 116巻2号より抜粋

品質水準の差(国内規格と守るべき指針)

- ✓ 国内規格JECは海外規格IECに比べて**より厳格**なものとなっている。
- ✓ さらに国内は**JECに加えて**、ユーザー、メーカー等が共同で検討し、**国内特有の環境/系統に起因する具備すべき責務、過去トラブル知見の活用等、守るべき指針がある**（下表参照）
→送配電機器の高信頼性に繋がり、**国内外の品質水準の差**の1つの要因と推測。
よって、電力品質維持するには当該指針への継続準拠が必要と考える。

名称	目的	参加者	主な刊行物
一般社団法人 電気学会 (IEEJ)	1888年，設立。電気機械器具・材料等の標準化に関する事項を調査審議し，電気分野における標準化を目的とする。 ①JEC(電気規格調査会標準)規格の制定および普及 ②IEC(国際電気標準会議)規格に係わる審議 等	・電力会社 ・メーカ ・大学 ・電気事業連合 他	・JEC-2350 ガス絶縁開閉装置 ・JEC-2300 交流遮断器 ・JEC-2200 変圧器
一般社団法人 電気協同研究会 (ETRA)	1933年，電気事故防止協同研究会設立(電気事故防止対策の研究を行う)。1940年設立。 電気技術の諸問題に関する調査・研究及びその成果の提供等を行うことにより，電気設備の工事・維持・運用に関する技術の進歩及び電気技術者の資質の向上を図ることを目的とする。	・電力会社・ ・メーカ ・大学 ・電気事業連合 ・国内電機工業会 ・電力中央研究所 他	・電協研31巻3号 大容量変圧器 現地作業基準 ・電協研40巻5号 変電所防災の 実効策 ・電協研74巻2号 変電機器の 耐震設計最適化
一般社団法人 国内電気協会 (JEA)	1892年，設立。 電気事業法に基づく技術基準を補完することを目的とする。 ①電気技術規程 (JEAC) ②電気技術指針 (JEAG)	・電力会社 ・メーカ ・大学 ・電気事業連合他	・JEAC5001 発電変電規程 ・JEAG5003 変電所等における 電気設備の耐震設計指針

品質水準の差(国内規格と守るべき指針)

- ✓ 国内規格JECは海外規格IECに比べて**より厳格**なものとなっている。
- ✓ さらに国内は**JECに加えて**、ユーザー、メーカー等が共同で検討し、**国内特有の環境/系統に起因する具備すべき責務、過去トラブル知見の活用等、守るべき指針がある**（下表参照）
→送配電機器の高信頼性に繋がり、**国内外の品質水準の差**の1つの要因と推測。
よって、電力品質維持するには当該指針への継続準拠が必要と考える。

名称	目的	参加者	主な刊行物
一般社団法人 電気学会 (IEEJ)	1888年、設立。電気機械器具・材料等の標準化に関する事項を調査審議し、電気分野における標準化を目的とする。 ①JEC(電気規格調査会標準)規格の制定および普及 ②IEC(国際電気標準会議)規格に係わる審議 等	・電力会社 ・メーカ ・大学 ・電気事業連合 他	・JEC-2350 ガス絶縁開閉装置 ・JEC-2300 交流遮断器 ・JEC-2200 変圧器
一般社団法人 電気協同研究会 (ETRA)	1933年、電気事故防止協同研究会設立(電気事故防止対策の研究を行う)。1940年設立。 電気技術の諸問題に関する調査・研究及びその成果の提供等を行うことにより、電気設備の工事・維持・運用に関する技術の進歩及び電気技術者の資質の向上を図ることを目的とする。	・電力会社 ・メーカ ・大学 ・電気事業連合 ・国内電機工業会 ・電力中央研究所 他	・電協研31巻3号 大容量変圧器 現地作業基準 ・電協研40巻5号 変電所防災の 実効策 ・電協研74巻2号 変電機器の 耐震設計最適化
一般社団法人 国内電気協会 (JEA)	1892年、設立。 電気事業法に基づく技術基準を補完することを目的とする。 ①電気技術規程 (JEAC) ②電気技術指針 (JEAG)	・電力会社 ・メーカ ・大学 ・電気事業連合他	・JEAC5001 発電変電規程 ・JEAG5003 変電所等における 電気設備の耐震設計指針

交直変換器を含む送変電設備
の比較例

項目例	IEC	国内指針
耐震要求	静的水平加速度 0.2~0.5m/S ²	動的水平加速度 0.5m/S ² (JEAG) ※地震時対策により、重故障を回避。
機器型式試験 (絶縁性能検証のためのインパルス耐電圧判定基準)	規定回数の試験電圧印可時に、 最大2回までの絶縁破壊を容認	規定回数内の試験電圧印可時に、いかなる絶縁破壊も認めず。

品質水準の差(保守要件)

- ✓ 国内外ではユーザーがメーカーに要求する**保守の考え方に差がある**
- ✓ つまり、国内では**事故時の損害を最小化するための体制・対応＝最適な保守要件**が求められ、これが、国内外の品質水準の差の1つの要因と推測。
→よって、電力品質維持するには継続維持が必要と考える。

■ 保守要件

- i 保守拠点の近隣配置
- ii トラブル時/災害時の迅速な初動対応・復旧対応・原因真相究明・
対策検討、同型機種への水平展開
- iii 電気関係報告規則に定める主要電気工作物の破損事故報告対応※
- iv 廃形対応（廃形機種について、ユーザーと保守方法を協議）

※電気事業法第106条を基に定めている

速報：事故の発生を知った時から**24時間以内**に、可能な限り速やかに実施（①事故発生日時、②事故発生場所及び事故の概要）

詳報：事故発生から**30日以内**に書面にて実施（①件名、②報告事業者(電力会社)、③発生日時、④事故発生の電気工作物(設備)、
④状況、⑥原因、⑦被害状況、⑧復旧日時、⑨防止対策、⑩主任技術者の氏名・所属、⑪電気設備設置者の確認の有無(代表者を記載)

サマリー

✓ 海外メーカーとの導入時の製品単価水準に差が生じる要因には、2つの理由があると想定

品質水準の差

- ✓ 国内メーカーは、電力品質を重要視する国内において、適切な製品単価を維持しつつ、品質を向上させることで、製品ライフサイクルを通じた全体(停電時の経済損失含)でのコスト低減を実現してきた。
- ✓ 国内電力系統に求められる高信頼度と、メンテナンスの際に性能維持にコスト低減が図れる機器を提供してきた結果、国内外メーカーにおいて導入時の製品単価水準に差が生じていると想定。
- ✓ 今後も、国内の産業活動を維持していく為には、電力品質維持は必須であると考える。

物量の差

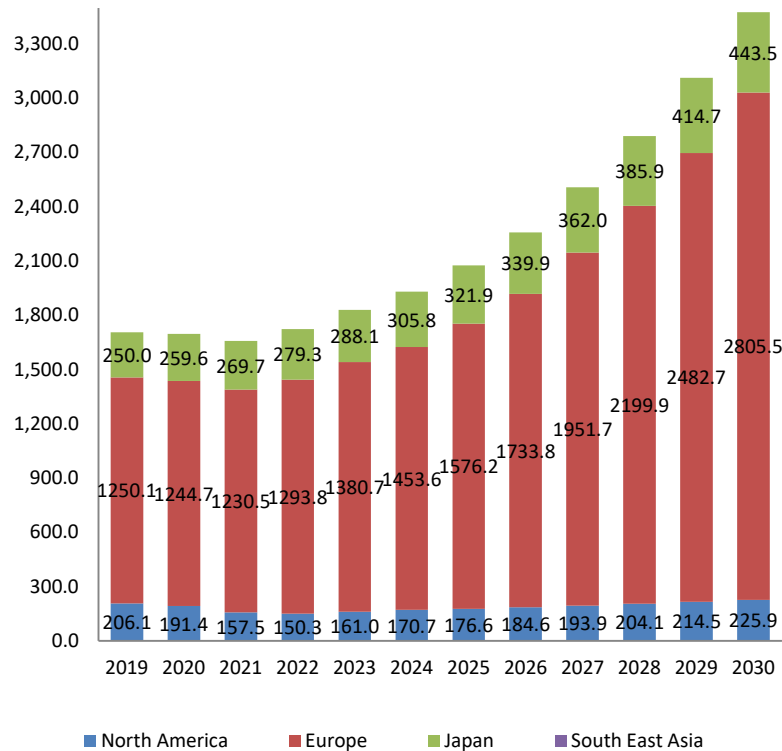
- ✓ 欧米市場は多国間連携、洋上風力接続等のニーズから長距離直流送電の需要が継続的に多い。
- ✓ それにより、海外メーカーは購入物量をベースとした安価なサプライチェーン構築(自国内外)、計画的な設備投資が可能となり、製品コスト低減を図っていると想定。

以降のスライドで国内外における「品質水準の差」「物量差」について説明する。

物量比較

当社調査の結果、**国内外市場で大きな物量差が存在**

① 直流送電システム市場規模推移 (M\$)



(出典) 当社独自調査結果によりグラフ化

② 国内外のプロジェクト一覧

no	sytem	year commissioned
1	paxifin intertie celilo	1970/02
2	Skagerrak 1 & 2	1976/77
3	Skagerrak 3 & 4[3]	1993/15
4	Shin-Shinano 1	1977
5	Shin-Shinano 2	1992
6	Nelson River BP1	1973/4
7	Nelson River BP2	1978/83
8	Nelson River BP3	2018
9	Hokkaido-Honshu	1970/93
10	CU	1996
11	Gotland 2 & 3	1983/87
12	IPP	1986
13	Italpu BP1	1984/85
14	Italpu BP2	1987
15	Highgate	1985
16	Konti Skan 2	1988
17	Vlnthyachal	1989
18	McNeIII	1989
19	Fenno-Skan 1	1990
20	Fenno-Skan 2	2011
21	Rlhand-Dadri	1991
22	SACOI [4]	1992
23	New Zealand Pole2 [5]	1992
24	New Zealand Pole3 [5]	2013
25	Sakuma	1965/93
26	Kontek	1998
27	Haenam-Jeju 1	1997
28	Jindo-Jeju 2	2014
29	Chandrapur	1998

no	sytem	year commissioned
30	Vizag I East-South	2000
31	Vizag II East-South	2005
32	Kll Channel	2000
33	Malaysia-Thailand	2001
34	Grita	2001
35	Talcher-Kolar	2003
36	Sasaram	2003
37	Higashi-Shimizu	2006
38	Bassluk	2006
39	EstLink 1 [6]	2007
40	EstLink 2	2013
41	NorNed	2008
42	Al Fadhill	2009
43	Canora Bassa	1977/2009
44	SAPEI	2009
45	Caprivi [6]	2009
46	Storebaelt	2010
47	Balla-Bhlwade	2010
48	BritNed	2011
49	WATL	2016
50	EATL	2016
51	NER-Agra BP1	2017
52	NER-Agra BP2	2017
53	Champa Kurukshetra 1	2017
54	NordBalt [6,7]	2016
55	LitPol	2016
56	RioMadeira BP2	2018
57	Minami-Fukumitsu	1999

(出典) CIGREレポート2010-2020より当社でリスト化

[補足]

CIGRE Report 2010-2020より当社で算出。実績数は国内7件、海外50件となっている。

なお、①②は中国を除く（中国では2010年以降18件（U直流送電システム含む）国家主導でMVDC/LVDCの実証も実施中）

【発表内容】

1. 当社直流送電技術の紹介
2. 海外事業に対する国内事業の製品単価水準の見通し
3. 単価低減の為の必要な方策や環境

単価低減に向けた2つの提言

1. 社会全体のコストミニマム化を実現する総合評価方式の導入
2. 中長期の系統増強計画の情報共有

単価低減に向けた2つの提言

1. 社会全体のコストミニマム化を実現する総合評価方式の導入
2. 中長期の系統増強計画の情報共有

1. LCOE※の低減を含めた総合評価方式の導入

- ✓ 製品単価の低減だけでなく、運転保守コストを含めた**製品ライフサイクルを通じた全体でのコスト低減が重要**。
- ✓ 事故停止を考慮した**電力逸失量を含め、送電有効電力量を評価することが重要**。
- ✓ 具体的には、**LCOE評価、最適な保守用件、国内規格/指針準拠等を考慮した総合評価方式の確立と導入**が必要。
- ✓ 欧州市場での洋上風力導入時には、LCOEでの評価が導入されている。

$$\text{LCOE} = \frac{\text{CAPEX (直流送電システム/ケーブル)} + \text{OPEX (運転保守コスト：修繕費含む)}}{\text{送電有効電力量} - \text{損失} - \text{電力逸失量 (定検 and 事故停止)}}$$

= 均等化発電原価評価（再生可能エネルギーを発電端として）
(Levelized Cost of Electricity)

品質が影響
現状は評価されないケースが多い

LCOE海外事例

欧州洋上風力(直流送電システム/系統連系まで含む)の契約額の元になる事業者のコスト算定には、LCOEが導入されている

欧州 LCOE採用事例

	680 MW Borssele 3 & 4	600 MW Kriegers Flak	700 MW Borssele 1 & 2
国	オランダ	デンマーク	オランダ
契約月	2016年12月	2016年11月	2016年7月
契約者	Royal Dutch Shellをリーダーとするコンソーシアム	Vattenfall	Dong Energy
契約額	54.5ユーロ/MWh	49.9ユーロ/MWh	72.7ユーロ/MWh

- 1) **2016年以降も適用**されている。
- 2) 設備稼働率は重要な要素である為、**電力逸失量も加味**された。

(出典)：ホームページより

単価低減に向けた2つの提言

1. 社会全体のコストミニマム化を実現する総合評価方式の導入
2. 中長期の系統増強計画と情報開示

2. 中長期系統増強計画の情報共有

- ✓ 再エネ主力電源化の実現には、効率的電力輸送、すなわち多数の長距離直流送電システムを含めた系統増強が必要と想定。
- ✓ **中長期計画を共有することで、効率的な設備投資計画/調達計画による製品単価低減に加え、工事遂行体制/技術の維持が可能。**

