

みずほ産業調査 Vol. 78 「日本産業が直面する制約を乗り越えるために
～人手不足とエネルギー制約を成長につなげる打ち手～」

非鉄金属

～超電導電線の普及を通じた送配電ロスの抑制に向けて

みずほ銀行

産業調査部

2025年5月30日

ともに挑む。ともに実る。

MIZUHO

サマリー

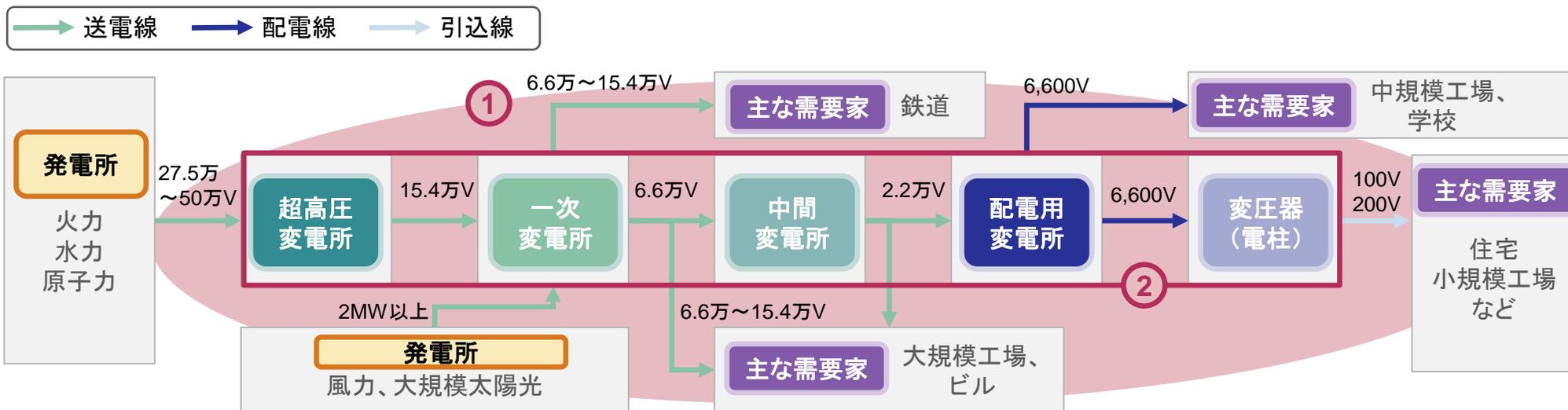
- 電気抵抗の存在により、電力の長距離輸送時や変電所における電圧の変換時に送配電ロスが発生している。日本における送配電ロス率は約4.8%、送配電ロスの発生量は年間約435億kWhであり、これは原子力発電所約6基分の発電量に相当する。日本において、送配電ロスの発生は、エネルギー制約上の重要な課題の一つである
- 従来、日本においては、HVDC(高圧直流送電)や「超々高電圧」などの新技術の活用を通じた送配電ロスの抑制を図る試みが進められてきたが、国土面積が狭い日本においてはHVDCの導入適地が限定的であるなど、既存の技術に基づく送配電ロスの抑制には限界があるのが現状である
- 送配電ロスのさらなる抑制に資する取り組みとして注目されるのが、物質の温度を極低温にまで低下させることにより、電気抵抗をゼロにする超電導技術の、送配電領域における活用である。超電導電線の活用により、送配電ロス量の約95%の抑制が可能(SWCC製超電導電線の例)であり、送配電ロスの大幅な抑制が期待される
- しかし、超電導電線は既存の電線よりも高価であったり、超電導電線の冷却に使用する冷凍機など周辺機器に対する投資が必要であったりと、コスト面の障壁を背景に、需要家においては導入によるコストメリットが見出しづらく、普及が妨げられているのが実態である
- 超電導電線の導入により変電所数の削減を図り得る鉄道領域や、今後消費電力の大幅増が想定され、超電導電線の導入による送配電ロス量の抑制効果が発現しやすいデータセンター領域などは導入メリットが明確であり、超電導電線が特に普及し得る有望領域として考えられる。しかし、電力消費量が多くとも超電導電線の敷設に適する区間が限定的であり、導入メリットが不明確である大規模工場などにおいては普及検討が進みづらい。他方、電線メーカーは、送配電向けの長尺電線の製造難易度が高いなどの技術的な障壁に直面している
- 今後、超電導電線の普及に向けては、超電導設備を活用する大規模工場や鉄道、データセンターが連携して「超電導工業地帯」を形成し、冷凍機などの設備に対する共同投資を行うことにより、投資コストの抑制を図ることが施策として考えられる。他方、さらなる技術革新に向けては、電線メーカー同士の連携による長尺電線の共同開発や、ベンチャーキャピタルとの連携を通じた外部資金の招き入れ、および投資の加速などが方向性として考えられる

(出所)みずほ銀行産業調査部作成

送配電ロスの発生は、日本におけるエネルギー制約上の課題の一つ

- 電流が物質を通過する際、電気抵抗の存在を背景に、電気エネルギーの一部が熱エネルギーに転換されて送配電ロスが発生。以降、送配電ロスの抑制に向けた施策について論じていく

日本における電力ネットワークの概観、および送配電ロス発生背景



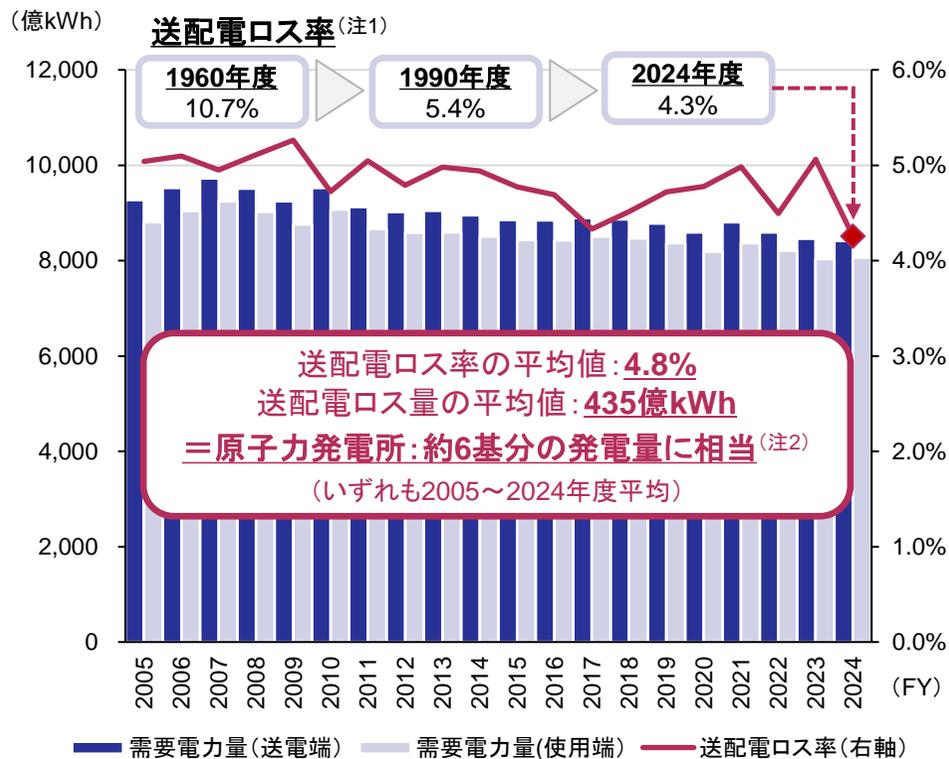
	送電ロスの発生場所	概要
①	電力の輸送時	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 発電後、電力を長距離輸送する過程におけるロスの発生 ✓ 鉄道など、長距離送電を伴う需要地におけるロスの発生
②	変電所などにおける電圧の変換時	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 高電圧から低電圧へと変換する際におけるロスの発生

(出所)みずほ銀行産業調査部作成

送配電ロス率の抑制は、日本を含む世界各国における課題

- 日本においては、およそ半世紀にわたり、送配電ロス率は低下傾向をたどってきたが、足下は4%台で下げ止まりの傾向
- 海外においては、日本以上に送配電ロス率が高い国が多く存在。送配電ロス率の抑制は、各国共通の課題であると思料

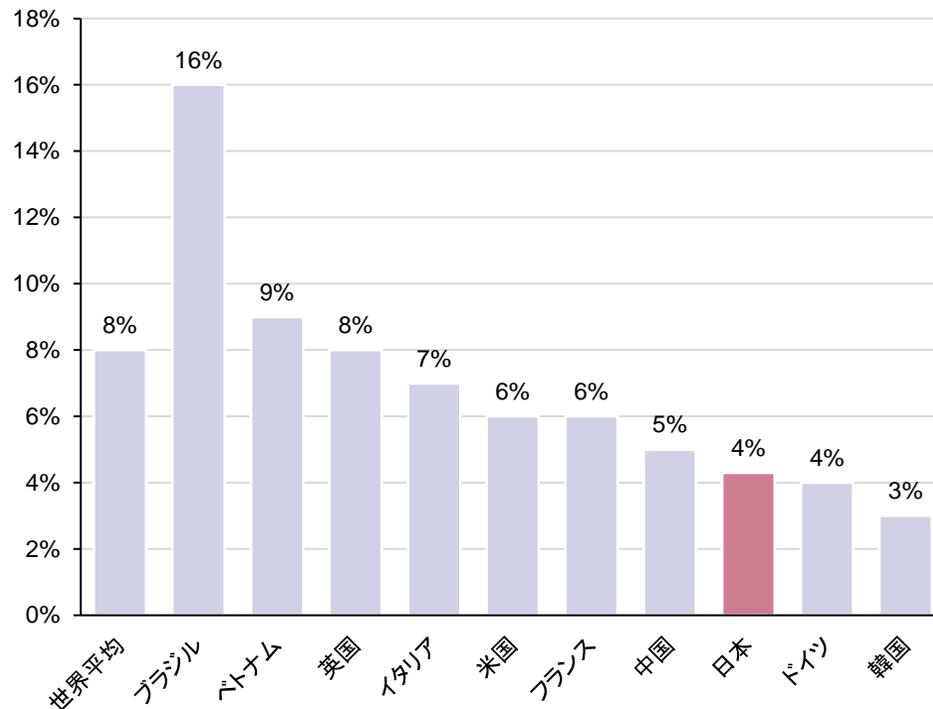
日本における電力需要および送配電ロス率の推移



日本において、送配電ロス率は4%台の横ばい圏での推移が持続

(注1) 送配電ロス率の定義は、「(需要電力量(送電端) - 需要電力量(使用端)) ÷ 需要電力量(送電端) × 100」。2024年度は推定実績。1960年度および1990年度は東京電力のデータ
 (注2) 発電設備容量が100万kW、設備稼働率が80%の原子力発電所を想定して試算
 (出所) 電力広域的運営推進機関資料、東京電力ウェブサイトより、みずほ銀行産業調査部作成

送配電ロス率の国際比較



海外においては、送配電ロス率で日本を上回る国が多く存在
 エネルギーロスの抑制は、世界共通の課題であると思料

(注) 日本のデータは、2024年度の推定実績、その他の国のデータは2014年
 (出所) 世界銀行、電力広域的運営推進機関資料より、みずほ銀行産業調査部作成

送配電ロスの抑制に向けた既存の取り組みには限界が存在

- 日本においては、過去約50年来、送配電ロスの抑制に資する技術開発や製品展開、および政策の展開が進められてきたものの、送配電ロスのより一層の低減に向けては、新たな施策を必要とする局面を迎えていると思料

送配電ロスの抑制に向けた従来の取り組み

取り組み	概要	残存する課題など
1 民 HVDC(注)の導入	<ul style="list-style-type: none"> ✓ HVDCは、送電を直流かつ高電圧で行うシステム ✓ 交流電流と比較して送電時の効率が高い点や、遠距離送電における活用に適している点などが特徴 ✓ 既に世界的に普及しており、日本では1970年代より運用が開始 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 国土面積が狭い日本においては、長距離送電に適するHVDC活用の適地は限定的 ✓ 変換器への投資費用が多額
2 民 「超々高電圧」構想	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 日本においては50万Vの超高電圧が採用されているが、次世代送電技術として100万Vの「超々高電圧」が構想 ✓ 東京電力において、1990年代から実証実験が始動 ✓ 高電圧に耐え得る絶縁体の導入などにより、取り組みが推進 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 実用レベルの技術は確立も、設備の肥大化や投資コストがネックとなり、普及には至らず
3 民 低損失型変圧器の展開	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 電力会社から、6,600Vの電圧で受電した後に、低損失変圧器を介して各種電動機を稼働させることにより、送配電ロス発生を抑制 ✓ 変圧器メーカーが上市済み — オフィスビルや学校、病院などにおける使用を想定したもの 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 主な活用場所は、大電流の使用を伴わない場所であるため、ロス的大幅抑制には至りづらい
4 官 送配電ロスの抑制支援	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 送電網の利用効率の向上を通じた送配電ロスの悪化抑制などを企図し、2024年4月より、「基幹系統投資効率化・送配電ロス削減割引」が始動 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ あくまでも送配電ロスの悪化抑制を企図する制度であるため、ロス的大幅抑制には至りづらい

(注) HVDC: High Voltage Direct Currentの略、高圧直流送電を指す

(出所) 東京電力ウェブサイト、公開情報より、みずほ銀行産業調査部作成

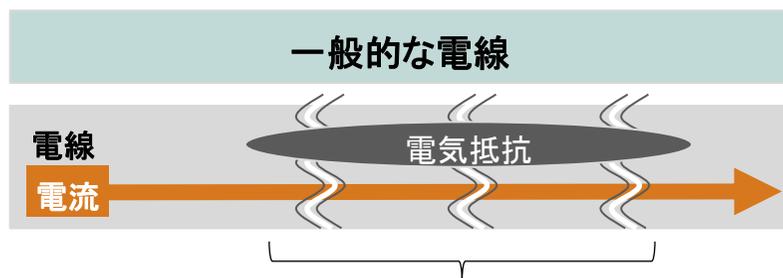
超電導の活用 ～通電時におけるエネルギー損失の抑制に資する技術

- 超電導とは、物質の温度が極低温にまで低下した際、電気抵抗がゼロとなる現象のこと
- 超電導の状態においては、通電時における電気抵抗がゼロとなる。この現象を活用することにより、通電時におけるエネルギーロスの発生を抑制することが可能となる

超電導の仕組み、および基礎的原理(電線の例)

超電導とは

物質の温度が極低温にまで低下した際、電気抵抗がゼロとなる現象



エネルギーが熱として放出⇒送配電ロスが発生

電気抵抗が生じる原因

- ✓ 物質中を個々に、かつばらばらに移動する電子が、通電時に金属原子と衝突するため



送配電ロスが発生しない

超電導における電気抵抗ゼロの背景

- ✓ 極低温下においては、電子は二対を成し(=クーパー対)、無駄に散乱しなくなる

超電導状態においては電気抵抗が存在しないため、大電流が損失なく通電可能

技術革新の進展に伴い、超電導の臨界温度は上昇傾向

- 超電導は約115年前に発見。長らく産業利用は限定的であったが、約40年前の高温超電導の発見が、本格活用の契機に

超電導に関する研究開発の歴史

20世紀初頭

超電導の発見

- ✓ 1911年：蘭物理学者のオネス氏が超電導を発見
 - 水銀の電気抵抗が、 -269 度（液体ヘリウム温度）以下で消失することが判明
 - なお、物質が超電導状態になる温度を「臨界温度」（以降、 T_c ）という

超電導の理論構築が進展

1930年代
～1960年代

研究開発の進展

- ✓ 1933年：超電導体に強い反磁性があることが明らかに（＝マイスナー効果）
- ✓ 1957年：超電導の仕組みが解明（BCS理論）
- ✓ 1962年：超電導の量子論が発展（ジョセフソン効果の発見）

液体ヘリウムの高価さゆえ、
産業利用が限定的な期間が続くことに

従来比で高い T_c における超電導現象が発見

1980年代

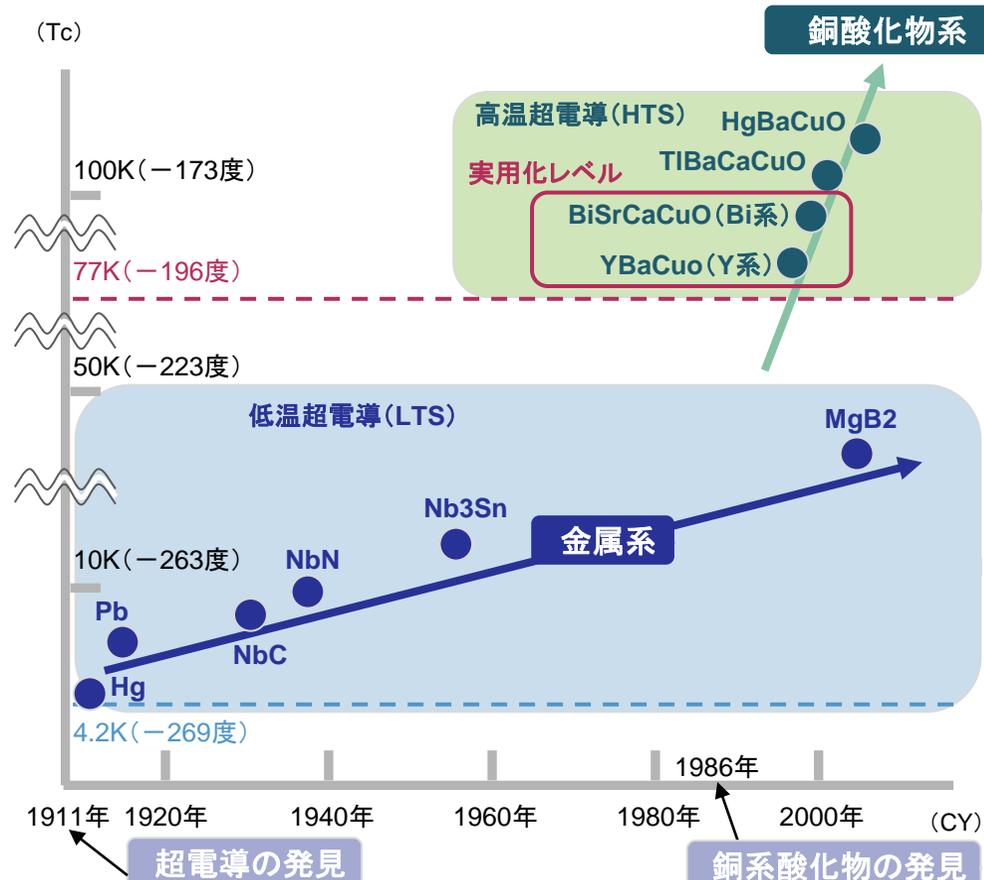
高温超電導体の
発見

技術的ブレイクスルー

- ✓ 1986年：銅酸化物においては T_c が -243 度となることが発見。同年内に -181 度の T_c を達成
- ✓ 現在は、 T_c ： -138 度での超電導物質が発見

現在から約40年前における高温超電導の発見が、
多様な産業における超電導の本格的な活用の契機に

T_c の歴史的変遷



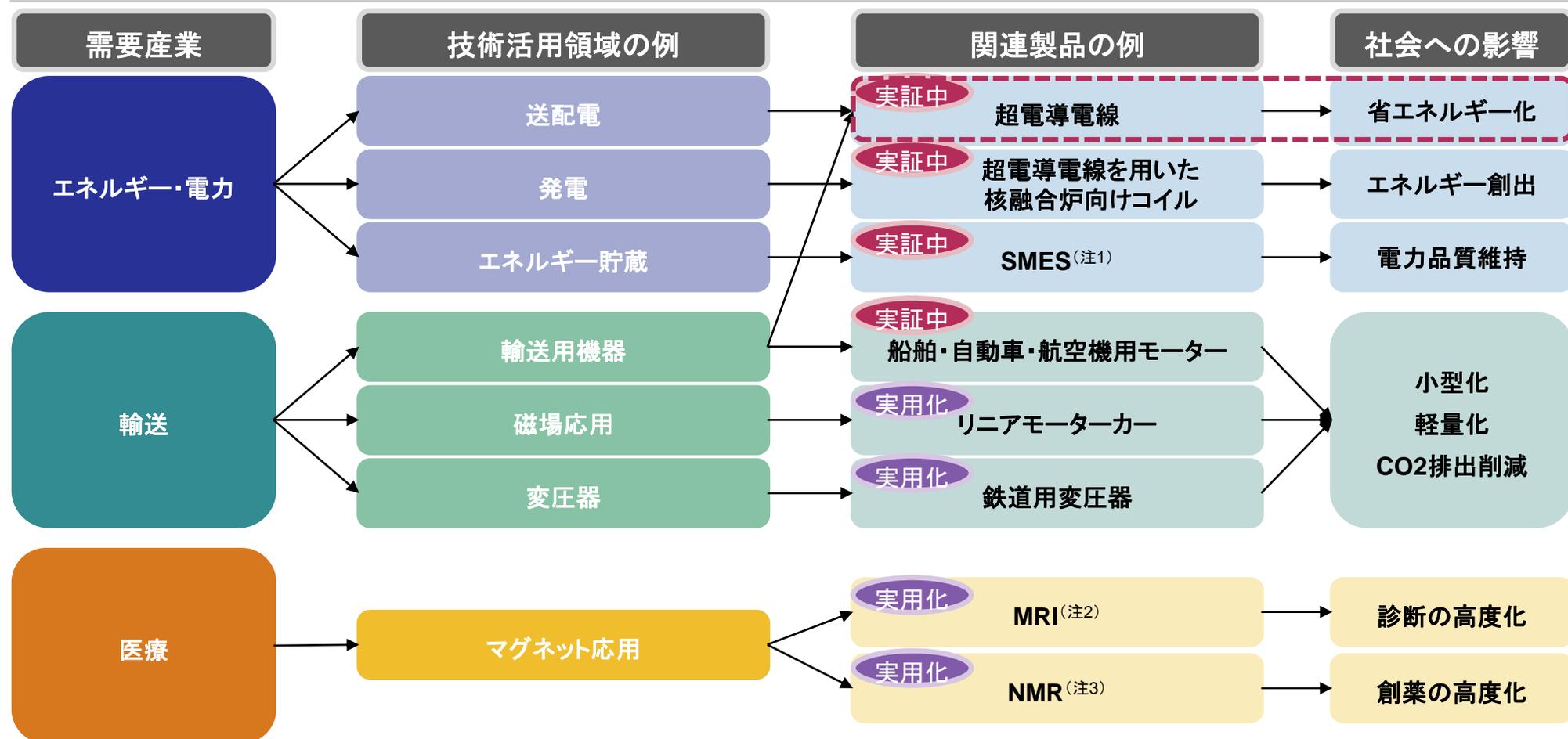
足下は、特にY(イットリウム)系材料が電線メーカー各社の注力領域

(注) T_c : Critical Temperatureの略。一般的に、冷却に液体ヘリウム(-269 度)を必要とする超電導を「低温超電導」、液体窒素による冷却で実現し得る超電導を「高温超電導」と呼ぶ
(出所) 両図ともに、東北大学ウェブサイト、公益財団法人国際超電導産業技術研究センターウェブサイト、ほか各種公開情報より、みずほ銀行産業調査部作成

超電導技術は、一部製品においては実用化済みも、送電領域においては実証段階にある状況

- 超電導技術は、多様な産業における活用が想定される技術。各産業の一部製品(例:リニアモーターカー)においては実用化済みも、送配電領域における活用は依然として実証段階にあり、今後の実証実験の進展や社会実装に期待

超電導技術の主な用途



(注1) Superconducting Magnetic Energy Storageの略。超電導磁気エネルギー貯蔵システムを指す

(注2) Magnetic Resonance Imagingの略。磁気共鳴画像法を指す

(注3) Nuclear Magnetic Resonanceの略。核磁気共鳴を指す

(出所) 公益財団法人国際超電導産業技術研究センター資料より、みずほ銀行産業調査部作成

超電導電線は、類似製品かつ上市済みのHVDCと比較して高い効用が期待

- 超電導電線と同様に送配電ロスの抑制効果が期待される電線として既に上市済みのHVDCが存在。超電導電線は、依然として実証段階にある点などはネックだが、送配電ロスの抑制率などの観点から、HVDCを上回る活用メリットが期待

超電導電線、およびHVDCの特徴の比較

	超電導電線	HVDC
技術概要	電線を-196度などの極低温まで冷却し、超電導状態(電気抵抗をゼロ)にした上で送電	電線に200k~500kVの高圧電流を流して送電
主な活用場所(想定を含む)	理論上は、比較的多様なシーンにおける活用が想定可能 ・長距離送電、工場内配線、コイルなどの機器、etc...	高電圧送電の活用シーンは相対的にやや限定的 ・長距離送電(例:架空送配電線、洋上風力向け海底ケーブル)
送配電ロスの抑制効果	導入前の送電ロス量の約95%のロスの抑制が可能	導入前の送電ロス量の約20%のロスの抑制が可能
事業フェーズ	実証段階	上市済み
事業コスト	冷却設備など周辺機器への投資が必要 周辺機器のメンテナンスなどの各種コストも発生	直流電流の電圧変換は、交流電流対比で高コスト
競争環境	世界的に実証段階にあり、覇権を握る企業は依然存在せず 日本企業は、グローバル市場を席卷し得る状況と史料	世界的に参入企業が多数存在 電線メーカー間のパワーバランスは既に明確化 日系トップメーカー・住友電気工業のグローバルシェアは4位
備考	送配電ロスの大幅な抑制が可能 コンパクトな設計であるため、土木工事費の抑制に寄与	送配電ロスの一定程度の抑制が可能

(出所)みずほ銀行産業調査部作成

日系電線メーカーによる取り組み ～官民連携などにより技術開発を推進

- 日本においては、電線メーカーと超電導電線の需要産業との協業を通じた実証実験などが進められてきた背景あり。長年の研究開発が奏功し、超電導を応用した製品開発が着実に進展

主な超電導電線メーカーの動向

	古河電気工業	SWCC	フジクラ	住友電気工業
主力製品	Y系超電導線材	Y系超電導線材	Y系超電導線材	Bi系超電導線材 (今後、Y系線材に転換予定)
特徴	<p>蓄積された技術が強み</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 他社に先駆けて、1960年代より研究開発を開始 	<p>事業拡大を検討中</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 事業化に向けたロードマップを他社比で先行して立案 	<p>事業拡大を検討中</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 超電導線材のみならず、周辺機器の事業化も検討中 	<p>蓄積された技術が強み</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Bi系線材の開発を通じて長尺化技術を蓄積
近年の主な取り組み	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 核融合炉向け線材の開発 — 英Tokamak Energyと協業 ✓ キロアンペア級電線の開発 — 京都大学、科学技術振興機構との共同開発 ✓ 交流損失の低減技術の開発 — 京都大学、SuperPowerとの共同開発 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 電動航空機向け超電導ケーブルシステムの開発 — NEDOと協業中(航空機向け革新的推進システム開発事業) ✓ 送配電線への超電導の活用に関する実証実験 — BASFジャパン、NEDOとの協業により実施 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 核融合炉向け線材の開発 — 米Commonwealth Fusion Systemsへの超電導線材の納入 ✓ 核融合スタートアップへの投資 — 京都フュージョニアリングへの出資 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 送配電線への超電導の活用に関する実証実験 — 経済産業省「高温超電導技術を用いた高効率送電システムの実証事業」への参画 — 太陽光発電所からデータセンターへの送電について実証
今後の方向性	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 販売方針 — 医療分野向け線材のHTS(高温超電導)への置き換え — 核融合炉向けへの供給 ✓ 投資方針 — 核融合向け線材については、タイミングを見て増産計画を立案予定 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 販売方針 — 2026年度までに超電導送電の実用化を目指す方針 ✓ 投資方針 — 2027年までを目途に、HTSの製造能力を2倍に高める方針 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 投資方針 — HTSの増産投資を計画(投資金額:40億円) — 核融合炉向け線材の需要拡大を見越したもの ✓ その他 — 超電導線材の応用品である、コイルや電磁石の事業化を検討 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 投資方針 — 超電導事業を見直し、Y系線材の開発に舵を切る予定 — 量産技術はすでに保有も、実際の量産化は需要次第との見解

(注) 交流損失: 交流による送電時に発生するエネルギーロスを指す
(出所) 公開情報、各種報道より、みずほ銀行産業調査部作成

超電導電線は、構造の複雑さゆえ製造上の課題あり。導体は、送電効率などを左右する重要素材

- 超電導電線の構造は複雑であり、例えば電線中の通電部分である導体は多様な金属を積層させて製造する必要があることから、生産リードタイムが長期化しやすく、かつ長尺電線の製造難易度が高い点などが特徴的

超電導電線の構造

一般的な高温超電導電線の構造(断面図)

電線被覆部分

断熱管: 真空状態にして外部からの侵入熱を遮断

空隙層 液体窒素を流して冷却(冷媒復路) →

保護層: 导体同士の接触による大電流(短絡電流)の発生防止

超電導シールド層: 磁界発生の防止

電気絶縁層: 导体を保護

超電導導体: 通電部分

空隙層 ← 液体窒素を流して冷却(冷媒往路)

空隙層 液体窒素を流して冷却(冷媒復路) →

超電導導体の構造(断面図、SWCC製電線の例)

超電導導体

Cu

Ag

YBCO

CeO₂LaMnO₃

MgO(IBAD)

LaMnO₃Al₂O₃

Ni合金

Cu

内部構造

✓ 金属の薄膜形成などを通じて、多様な金属を積層

✓ 導体は、超電導電線の I_c (注1)や T_c (注2)を左右する重要な素材

✓ 超電導電線の構造は複雑であるため、生産リードタイムの長期化につながりやすいほか、長尺電線の製造が困難

✓ I_c の増加を通じた送電量の増加や、 T_c の上昇を通じた冷却コストの抑制には、導体のさらなる研究開発が不可欠

(注1) I_c : Critical Currentの略。臨界電流という、超電導状態で流し得る最大電流を指す

(注2) T_c : Critical Temperatureの略。臨界温度という、物質が超電導状態になる温度を指す

(出所) SWCC資料、公開情報、各種報道より、みずほ銀行産業調査部作成

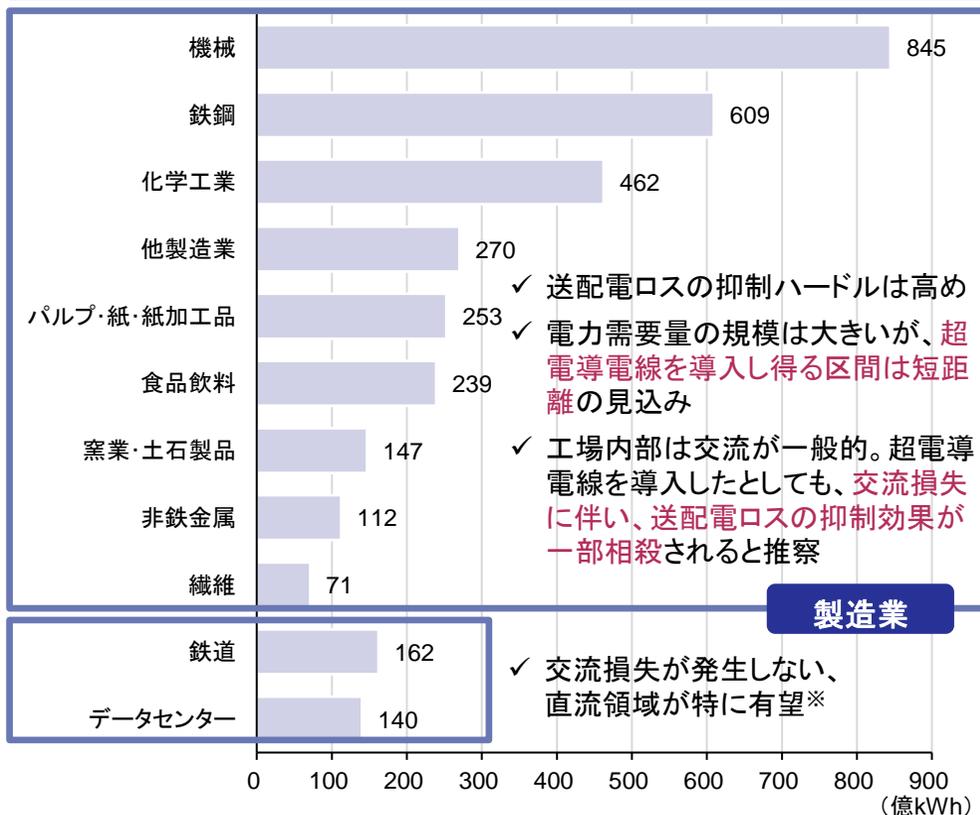
超電導電線は、明確な導入メリットの存在が認められる鉄道などの領域において先行普及へ

- 超電導電線は、導入に伴い生じるコストメリット(例:変電所数の削減)が明確である領域から先行して普及すると想定
- 製造業は電力消費量が多い領域も、超電導電線の導入区間が短距離であるなど、導入を積極的に検討しづらいのが現状

送配電線向け超電導電線の普及プロセス(弊行仮説)



産業別電力消費量の動向(2023年度)



※鉄道は直流・交流の双方が存在。交流であっても、超電導電線の導入による変電所数の削減メリットを背景に、導入意義は大きい想定。データセンターの内部は、直流構造が一般的。

(注) 鉄道は2022年度、データセンターは2018年のデータ
 (出所) 経済産業省、国土交通省資料より、みずほ銀行産業調査部作成

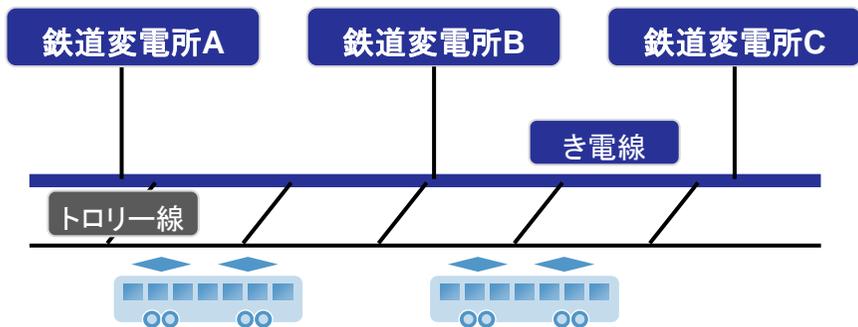
超電導電線の導入事例① ～鉄道領域における超電導電線の活用

- 鉄道総合技術研究所は、伊豆箱根鉄道の一部区間において、き電線への超電導電線の導入に向けた実証実験を実施
- 約100mの長さの超電導電線の導入については実証済み。今後は、km級の距離への導入などが取り組みの焦点に

伊豆箱根鉄道:き電線への超電導電線の活用に向けた実証実験

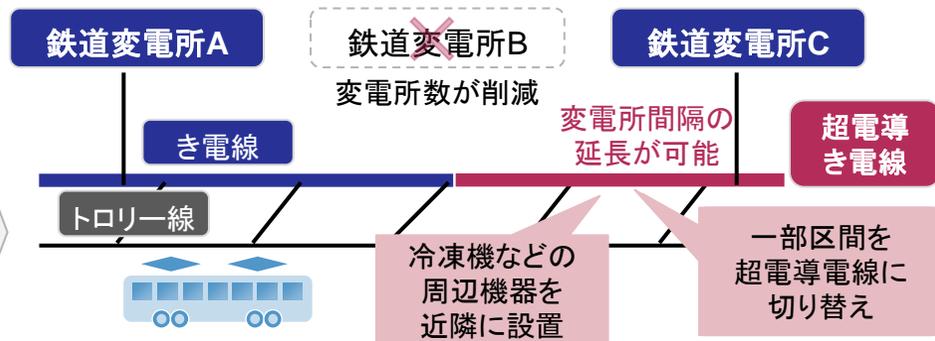
導入企業	取り組みの概要	備考
鉄道総合技術研究所	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 2024年3月、伊豆箱根鉄道において「<u>超電導き電システム</u>」の活用に関する実証実験を実施(世界初の試み) ✓ <u>102mの超電導電線</u>を用いて車両に給電 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 今後も同システムの開発を継続し、<u>5年以内の技術確立を目指す方針</u> ✓ 鉄道各社が同様に抱える送配電ロスの課題解決への貢献も企図(JR東日本の中央本線における実証実験も実施)

従来の送電の仕組みに関するイメージ図



- ✓ 送電時の電圧維持のため、一定間隔で鉄道変電所を設置
— 電圧が低下すると、車両に給電できなくなる

伊豆箱根鉄道における実証実験のイメージ図



- ✓ 変電所数の削減や、送配電ロス抑制に伴うコストメリットが期待

変電所の削減や送配電ロスの抑制に伴うコスト削減がインセンティブとなることで、超電導電線の導入検討が進みやすい。特に、交流損失が発生しないため、超電導電線の導入メリットが損なわれづらい直流電化の鉄道への導入が有望と見られる。

(民営鉄道の約70%、JR在来線の約36%は直流電化)

(出所) 公開情報、各種報道より、みずほ銀行産業調査部作成

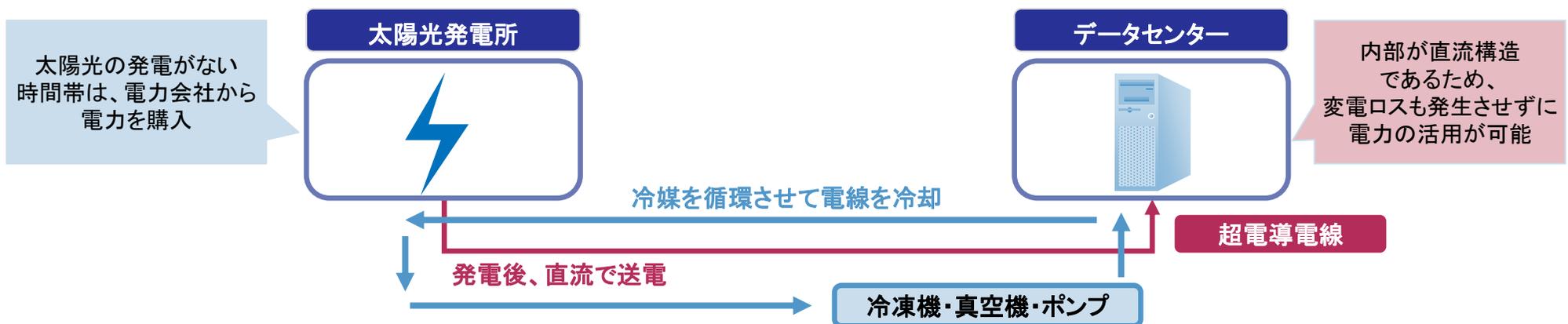
超電導電線の導入事例② ～データセンターにおける超電導電線の活用

- データセンターのオペレーターであるさくらインターネットは、北海道・石狩市におけるデータセンターへの給電に超電導電線を活用
- 太陽光発電由来の電力の活用により、送配電ロスの抑制のみならず、社会からのグリーン化要請への対応も実現

さくらインターネット: 石狩データセンターにおける超電導電線の活用に向けた実証実験

導入企業	取り組みの概要	備考
さくらインターネット	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 2023年12月、<u>石狩データセンター</u>において<u>500mの超電導電線や冷凍機などを調達</u> <ul style="list-style-type: none"> — 経済産業省による超電導に関する実証研究の受託(2013年)が契機 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ <u>住友電気工業の超電導電線</u>の活用により、実証実験に取り組んできた経緯 ✓ 消費電力の大幅増が見込まれる、データセンターにおける超電導電線の活用に焦点を当てたもの ✓ 今後、超電導電線の実用化を模索

超電導電線の活用による、石狩データセンターへの給電に関するイメージ図



大電流が流れるデータセンターにおいては、送配電ロスの抑制が論点となりやすい。

再生可能エネルギー由来の発電所との連携は、社会からのグリーン化要請に一層応え得る形となるため、検討意義が大きい。

(出所) 公開情報より、みずほ銀行産業調査部作成

需要家や電線メーカーは、思い切った投資に踏み切りづらい状況にある可能性

- 超電導電線の導入には高額な投資コストの発生など多様な障壁が存在。製造業など、導入障壁を上回るメリットを見出しづらい領域においては、普及に向けた打ち手が特に求められると思料

超電導電線の普及検討時に想定される主な障壁

	需要家	電線メーカー
1 コスト面の障壁	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 超電導電線の導入にかかるCAPEXおよびOPEXの発生 ✓ 長距離送電、ないし大電力を使用する区間でなければ、享受し得る送配電ロスの抑制効果が限定的となり、コストメリットを享受しづらい 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 上市時期が不透明であるため、高額な研究開発コストを投じづらい
2 技術面の障壁	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 超電導電線の長尺化技術が未成熟であるため、導入し得る区間が限定的 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 多様な金属を積層させて製造する超電導電線は、長尺化の難易度が高い ✓ 超電導状態で送電可能な電力量の増加を図る余地あり
3 販売面の障壁	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 新技術であるがゆえ、需要家は、導入に足る信頼や安心を抱けなければ、導入の意思決定を下し難い（電線メーカーは、需要家から導入に足る信頼や安心を得られなければ、販売を進めづらい） 	

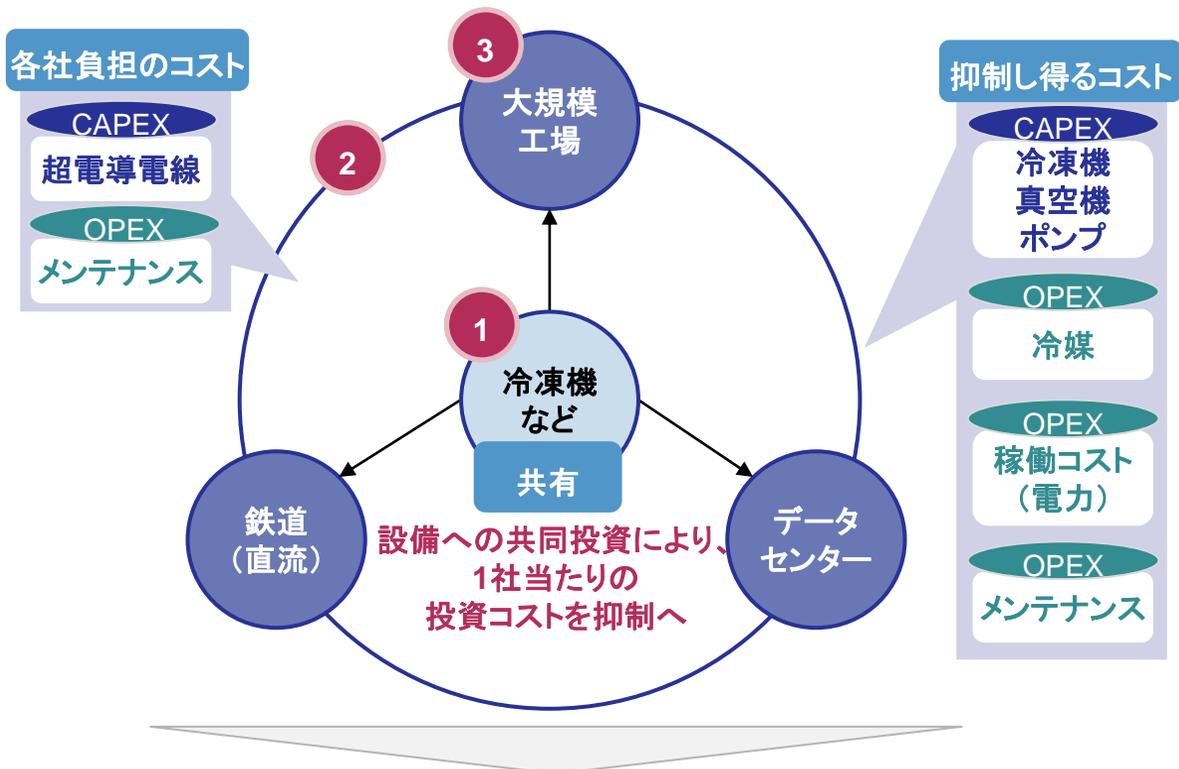
- ✓ 超電導電線の導入コストを上回るメリットの享受が不明確である領域においては、導入検討が進みづらい
- ✓ 電線メーカーは、収益見込みを立てづらい中では、思い切った投資に踏み込みづらい

打ち手① ～「超電導工業地帯」構想の展開を通じた、超電導電線の投資コストの抑制

- 超電導電線を活用し得る大規模工場同士が連携し、冷凍機などの設備に対する共同投資を行うことにより、超電導電線の導入ハードルを引き下げることができる可能性

超電導電線の導入にかかる投資コストの抑制に向けた打ち手 ～「超電導工業地帯」構想の展開(弊行仮説)

超電導設備を活用する企業が連携し、工業地帯を形成



1 近隣の需要家同士で設備を共有

- ✓ 大規模工場、鉄道会社、データセンターが設備に対して共同投資を行い、設備を共有

2 各施設などの立地特性を踏まえた展開

- ✓ 大規模工場・鉄道・データセンターの3者が揃うエリア以外における展開も視野
- ✓ 国内各地の工場集積エリア(各地の沿岸部など)や、データセンターの集積エリア(例:千葉県印西市)などにおける展開も想定

3 大規模工場における超電導電線導入への追い風

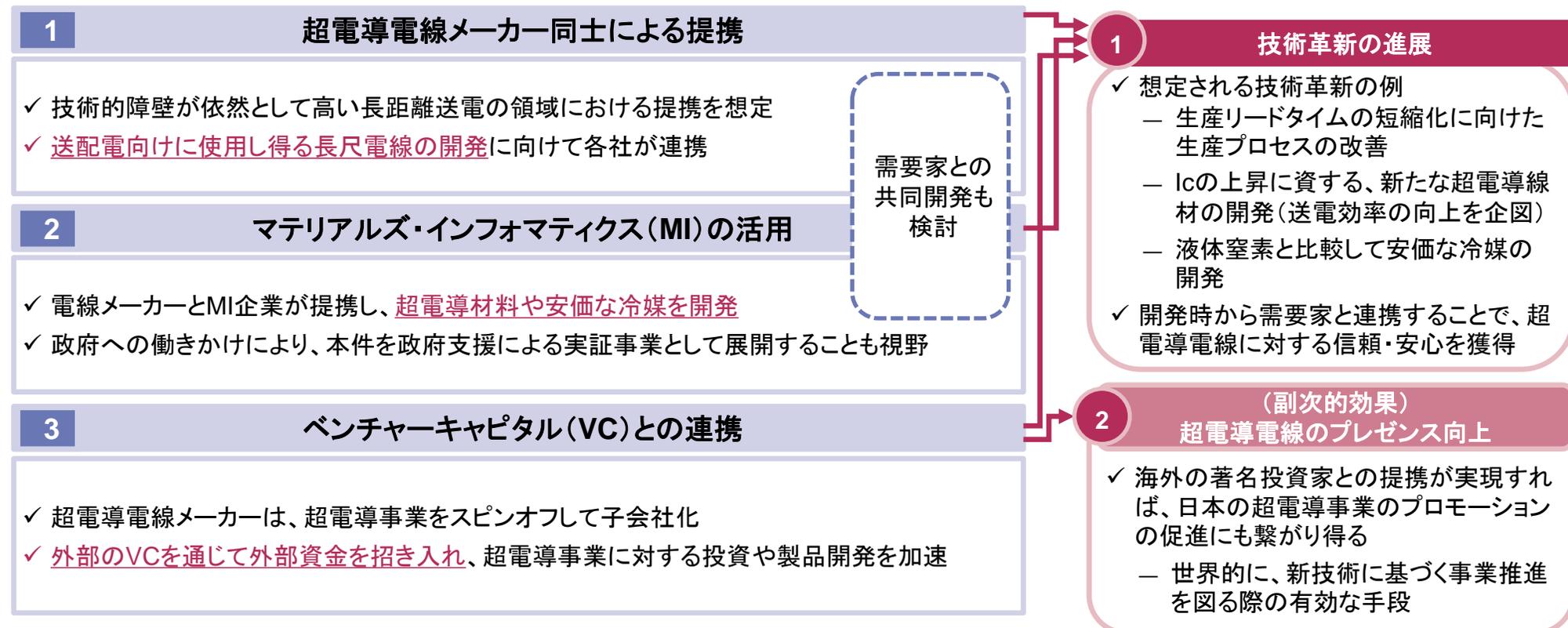
- ✓ 鉄道やデータセンター対比で、超電導電線の導入を通じたコストメリットの享受が想定しづらいとみられる大規模工場においても、普及に弾みが付く可能性

既存の工業地帯などを、エネルギー効率が高いものに再デザインすることにより、超電導電線の投資コストの抑制を図る

打ち手② ～さらなるイノベーションの実現には、電線メーカー同士による連携などが鍵に

- 長尺である送配電向け超電導電線の生産に向けた研究開発などを促す取り組みが重要になると思料

超電導電線に関するイノベーションの加速に向けた打ち手(弊行仮説)

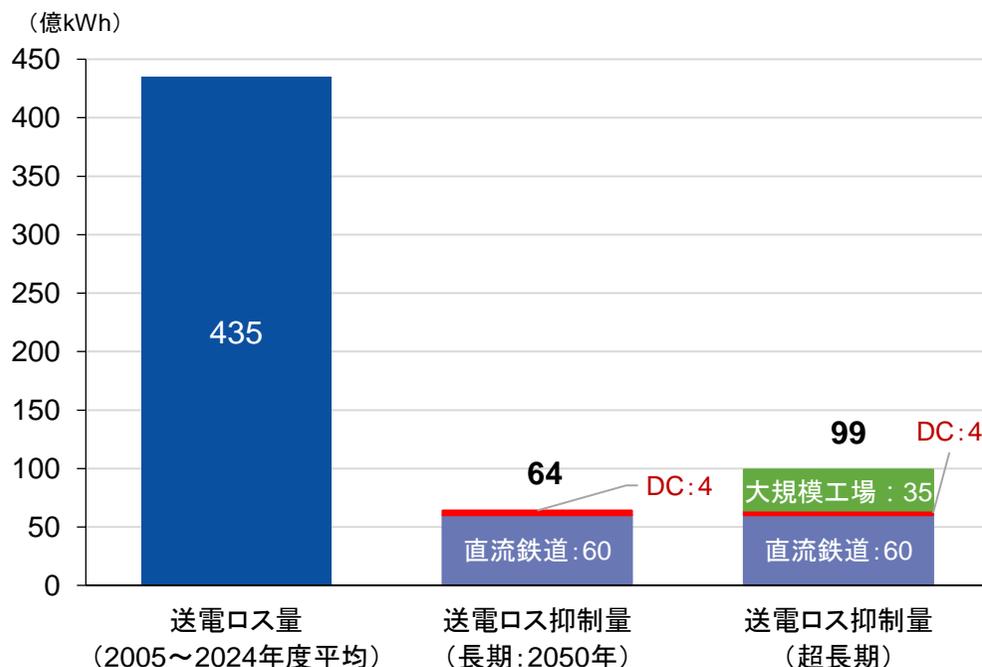


技術革新の進展は、需要家における超電導電線の普及を一層後押しする要因になると思料

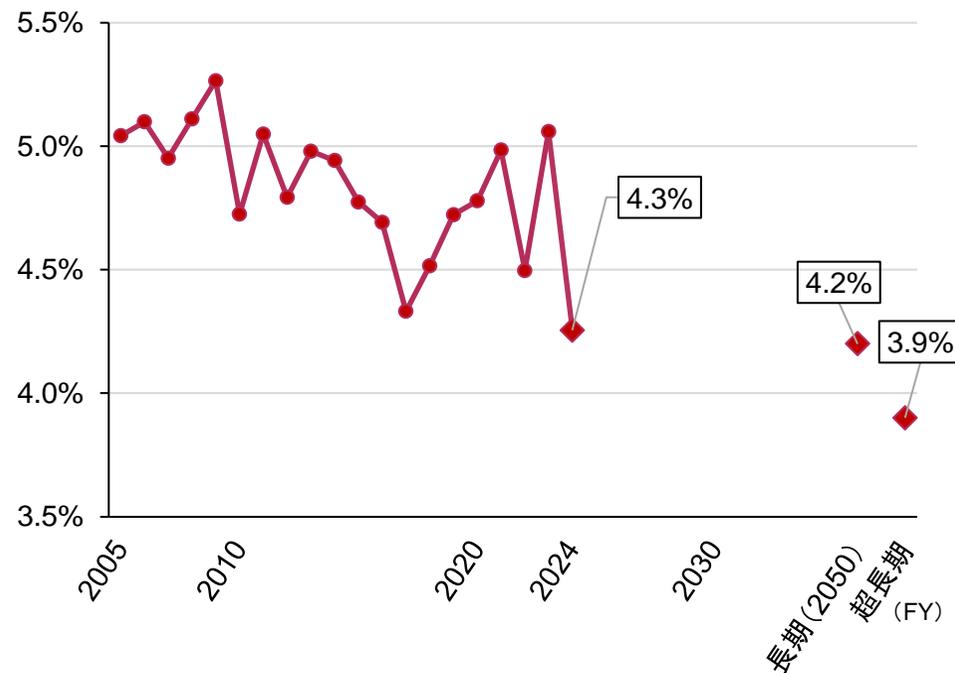
送配電ロス抑制量の推移イメージ ～長期、および超長期の時間軸において、ロスの抑制が進展

- 鉄道(直流)、データセンター、大規模工場への超電導電線の導入により、原発約1基分の送配電ロスを抑制し得ると予想
 - 長期(2050年):鉄道やデータセンターにおいて、超電導電線の普及が進展
 - 超長期:大規模工場においても、超電導電線の普及が進展
 - 研究開発の推進(生産リードタイム短縮化、Icの上昇、新たな冷媒開発 等)が普及に寄与

送配電ロス抑制量の見通し



送配電ロス率の見通し



(注1) 送配電ロス抑制量見通しの作成方法:【直流鉄道】直流鉄道における電力需要(約80億kWh)×送配電ロス率(4.8%、2005～2024年度実績の平均値)×超電導電線の活用による送配電ロスの抑制効果(ロス発生を95%抑制と仮定)。【データセンター】データセンターにおける電力需要(約1,500億kWh、2050年における弊行試算値)×送配電ロス率(4.8%、同上)×超電導電線の活用による送配電ロスの抑制効果(同上)。【大規模工場】大規模工場における電力需要(約35億kWh)×送配電ロス率(4.8%、同上)×超電導電線の活用による送配電ロスの抑制効果(同上)

(注2) 「直流鉄道における電力需要」は今後も大きくは変動しないものと仮定して、直近の電力需要実績値を使用。「超電導電線の活用による送配電ロスの抑制効果」としては、SWCC製の超電導電線の性能の値を活用。「データセンターにおける電力需要」は、電力広域的運営推進機関公表のデータセンター向け電力需要見通しを踏まえて弊行において試算したもの。「大規模工場における電力需要」は、特別高圧電力を活用している製造業を大規模工場(製造業全体の約40%)としてみなして試算したもの

(注3) 長期(2050年)および超長期における送配電ロス率は、送配電ロス抑制量の見通しや、弊行試算による電力需要見通しを踏まえて試算したもの

(出所)国土交通省、電力広域的運営推進機関資料、公開情報より、みずほ銀行産業調査部作成

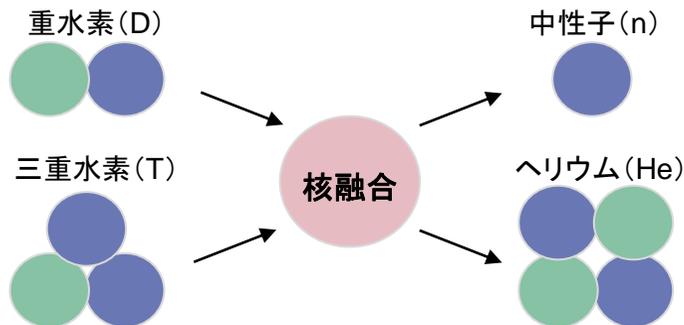
ご参考:核融合発電の実用化は、日本におけるエネルギー自給率の向上などへの貢献に期待

- 核融合発電は、資源調達制約の緩和を図りつつ、火力発電など既存の発電対比でより効率的な発電を可能とするなどの観点から注目される発電手法

核融合の原理

1 気体である重水素および三重水素を高温にし、プラズマ化

2 プラズマ化によって露わになった重水素および三重水素の原子核同士を衝突、融合させて、中性子とヘリウムを生み出す
(=DT核融合反応)



3 中性子およびヘリウムの質量は、重水素および三重水素よりも軽い
この差分だけ、質量が熱エネルギーに変換
生み出した熱エネルギーを基に発電を実施

核融合発電のメリット

1

燃料確保の容易さ

- ✓ 重水素および三重水素は海水からの回収が可能^(注)
- ✓ 資源調達制約の懸念が少ない

2

莫大なエネルギー発生

- ✓ 核融合発電における燃料1グラムで発電可能なエネルギー量は、石油8トン分の火力発電によって得られるエネルギー量に相当

3

放射性物質の処理に対する懸念の少なさ

- ✓ 核融合発電の際に発生する放射性物質の処理に要する期間は約100年
- ✓ 原子力発電の約10万年と比較して短期間で済む

核融合発電の実用化は、日本にとりエネルギー自給率の向上やエネルギー安全保障の確保などに資すると思料

(注) 重水素は海水中に約0.015%含有。三重水素は海水中のリチウムから回収が可能
(出所) 国立研究法人量子科学技術研究開発機構ウェブサイトより、みずほ銀行産業調査部作成

(出所) 公開情報より、みずほ銀行産業調査部作成

ご参考:核融合領域において、超電導電線はコイル向けに活用

- 核融合炉のうち、超電導を活用するのは「磁場閉じ込め型」の炉。核融合燃料のプラズマ状態の維持に必要となる磁場を生み出すためのコイルに超電導電線が活用

核融合炉に超電導電線が活用される背景

核融合炉に超電導電線が活用される背景

- ✓ 核融合燃料である重水素および三重水素をプラズマ化させた後、プラズマ状態を維持するためには磁場が必要
- ✓ 磁場の形成にはコイルが活用され、コイルには常時電流が流れている必要があるが、コイルへの通電時に電力ロスが発生すると、発電のメリットが阻害されかねない

主な核融合炉の種類、および研究開発を担う主なプレイヤー

磁場閉じ込め型 超電導を活用

コイルに電流を流し、磁場を形成。炉内にプラズマを維持させて、連続的に発電

トカマク型

- ✓ 日/JA-DEMO
- ✓ 米/Commonwealth Fusion Systems
- ✓ 英/Tokamaku Energy
- ✓ 中/ENN

ヘリカル型

- ✓ 日/核融合科学研究所
- ✓ 日/Helical Fusion

逆磁場配置型

- ✓ 米/Helion Fusion
- ✓ 米/TAE Technoligies

ミラー型

- ✓ 米/Lockheed Martin

慣性閉じ込め型

レーザー型

- ✓ 米/ローレンス・リバモア国立研究所
- ✓ 米/Blue laser fusion
- ✓ 日/阪大レーザー研
- ✓ 日/EX-Fusion

核融合燃料に対してレーザーを照射加熱により生じる「爆縮※」現象を活用

その他

- ✓ 英/First Light Fusion
- ✓ 米/Zap Energy

磁化標的核融合

- ✓ 加/General Fusion

その他

- ✓ 日/中部大学
- ✓ 日/クリーンプラネット

- ✓ 国内外のスタートアップ企業や研究機関などにより、核融合炉の研究開発が推進
- ✓ 古河電気工業などの電線メーカーは、国内外の核融合炉メーカーと協業し、超電導線材を供給中
- ✓ 現状、磁場閉じ込め型においてはLTS(低温超電導)の活用が主流も、今後はHTS(高温超電導)による代替を通じた冷却コストの抑制が進展するか否かなどに注目

(注)レーザーによる加熱が成功すると、燃料球の外側は急激に膨張するが、内側は外側が膨張した勢い(=慣性)で急激に圧縮される。圧縮した内部を急激に加熱することで、超高温状態を作り出す(出所)両図ともに、経済産業省資料、公開情報より、みずほ銀行産業調査部作成

[X\(Twitter\)公式アカウント](#) [産業調査部](#)
[「みずほ産業調査」はこちら](#) [発刊レポートはこちら](#)



みずほ産業調査／78号

2025年5月30日発行

© 2025 株式会社みずほ銀行

本資料は情報提供のみを目的として作成されたものであり、取引の勧誘を目的としたものではありません。本資料は、弊行が信頼に足り且つ正確であると判断した情報に基づき作成されておりますが、弊行はその正確性・確実性を保証するものではありません。本資料のご利用に際しては、貴社ご自身の判断にてなされますよう、また必要な場合は、弁護士、会計士、税理士等にご相談のうえお取り扱い下さいますようお願い申し上げます。
本資料の一部または全部を、①複写、写真複写、あるいはその他如何なる手段において複製すること、②弊行の書面による許可なくして再配布することを禁じます。

編集／発行 みずほ銀行産業調査部

東京都千代田区丸の内1-3-3 ird.info@mizuho-bk.co.jp