

超電導直流送電(SCDC) の 技術開発の現状と動向

山口 作太郎

中部大学・超伝導センター

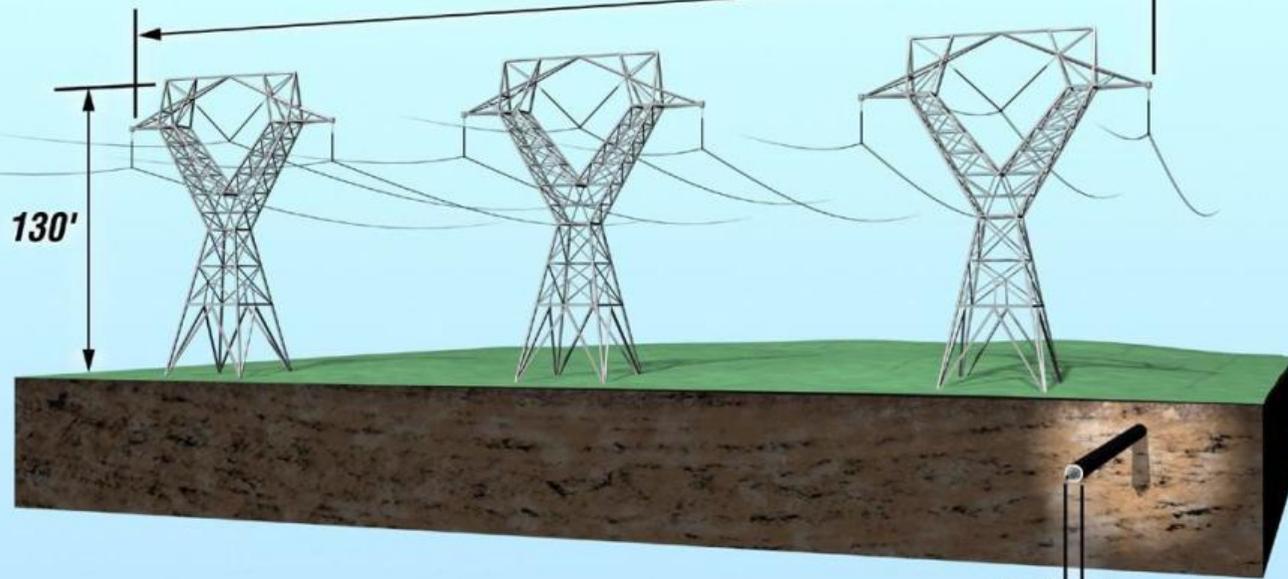
CASER, Chubu Univ.,



超電導直流送電の特長

from HP of American Superconductor (AMSC)

5GW, 765kV Overhead Power Lines
600' Wide ROW



5GW, 200kV Superconductor Electricity Pipeline
3' Diameter Pipe

from HP of American Superconductor (AMSC)

- 1) 少ない損失
- 2) 環境に優しい
- 3) 低電圧システム
- 4) 小型システム

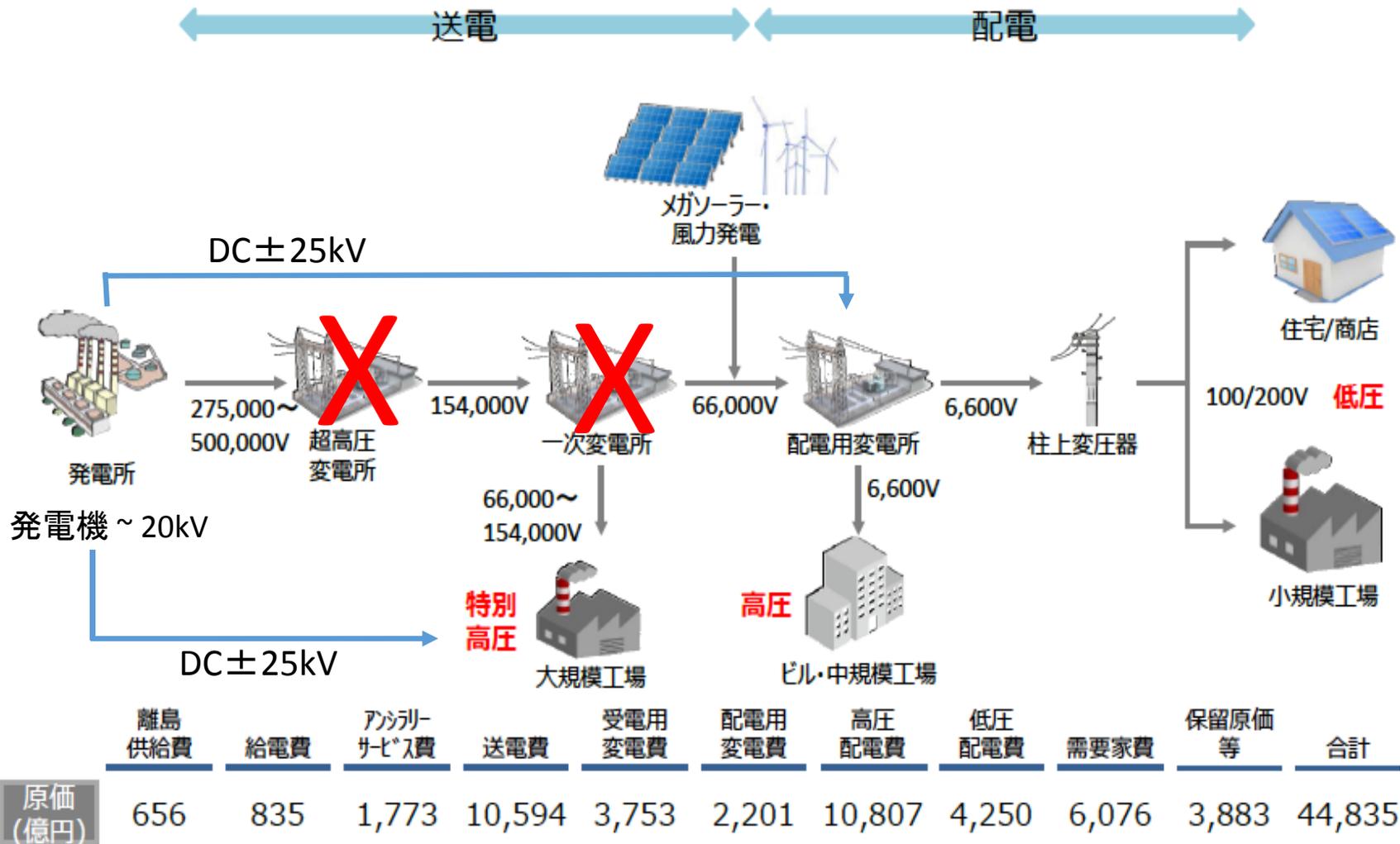
このため、

- I. 最終的には安価
- II. 高い安全性
- III. 超長距離

従来より低電圧になるため、現状の送電網で利用されている高圧変電所群が不要になる可能性が大きい！

日本の送配電網とコスト

経済産業省 電力・ガス等取引監視等委員会資料から



配電変電所から柱状変圧器を通じた需要家への配電網直流化を検討中

DC Micro-Grid
2019年5月に日本でIEEE主催の国際会議開催

超高压変電所、一次変電所、二次変電所をバイパスして、発電所から直接配電変電所に接続
多くの再生可能エネルギー発電所は配電変電所に接続
新幹線がAC25kVが長く利用されてきた

添付資料2 スーパーグリッドハイウェイ(仮称)プロジェクトの技術開発 <超電導リニア新幹線との進捗比較>

	超電導リニア新幹線PJ	超電導直流送電PJ
基礎研究 ¹⁾	鉄道総研内 実験線 1972年, 480m	中部大学構内 2006年 20m(高温超電導線材を利用し世界初の実験), 2010年, 200m(企業からの寄付、文科省からの支援)
実証研究	宮崎実験線 1977 - 1995年, 7km	石狩実証線(長距離化の目途が立つ) 2013 - 2017, 1km + 500m
実験線	山梨実験線 1997年, 42.8km(商業線の一部)	高速道路への導入 10km - 20km程度(商業線の一部に)
商業線	中央リニア新幹線 東京 - 名古屋(大阪) 300km - 500km(建設中)	ロードマップ参照

注1): 国内では超電導交流電力ケーブルの開発が経済産業省、NEDOなどの支援で20年以上開発が行われたが、2018年度で終了し、今後の予定は無いとのこと。

世界的にも複数の新規プロジェクトが直流ケーブル開発に向かっている。



今後の開発予定(ロードマップ)

実証デモ期(開発研究期～2030年頃マデ)

石狩での実験: 2年間程度(その後も国際研究センターとして活用)
10km – 20km デモ線の建設と実験: 5年間程度
平行して、
超電導ケーブル用低電圧大電流電力変換器の試作
超電導ケーブル用直流遮断器等安全機器の試作
各機器の性能向上、コスト低減

導入期(2025年～2040年)

10km – 100km: 距離を伸ばすと同時に性能向上とコスト低減を図る

- ① 国内導入を優先も国際的に広く展開
- ② 各機器の改良は継続(電力技術のエジソン以降の発展が参考)
- ③ 超電導海底ケーブル開発
- ④ 交流超電導ケーブルの実証

普及期(2040年以降)

100km – 1000km: 距離を伸ばし、日本及び各国での利用
国際送電網への展開

変電所とは



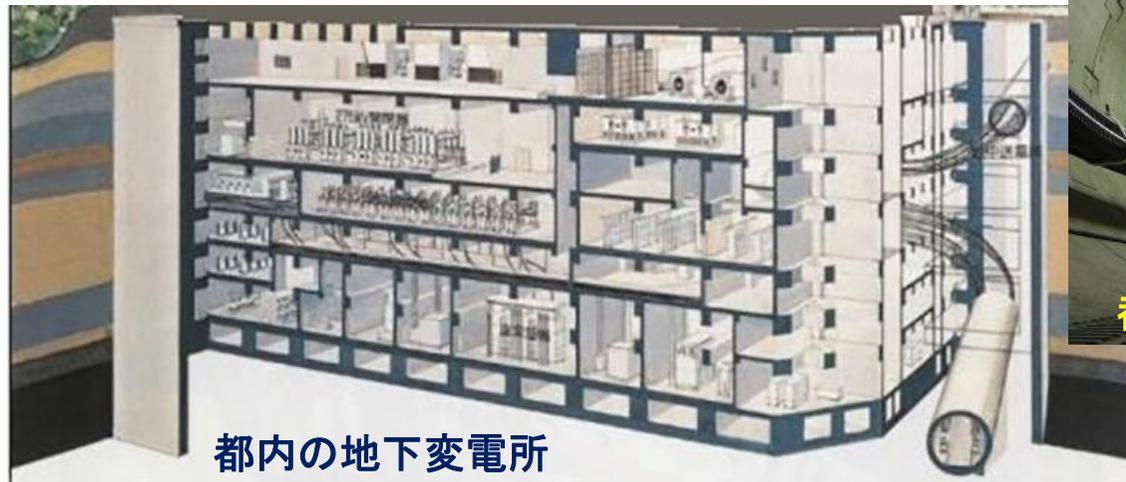
超高圧交流変電所



HVDC変電所

東電管内で
 全ての変電所数 = 1614カ所
 内地下変電所数 = 199カ所

高圧変電所のSA, PA等に設置
 は、電気絶縁のためサイズが
 大型化し、困難



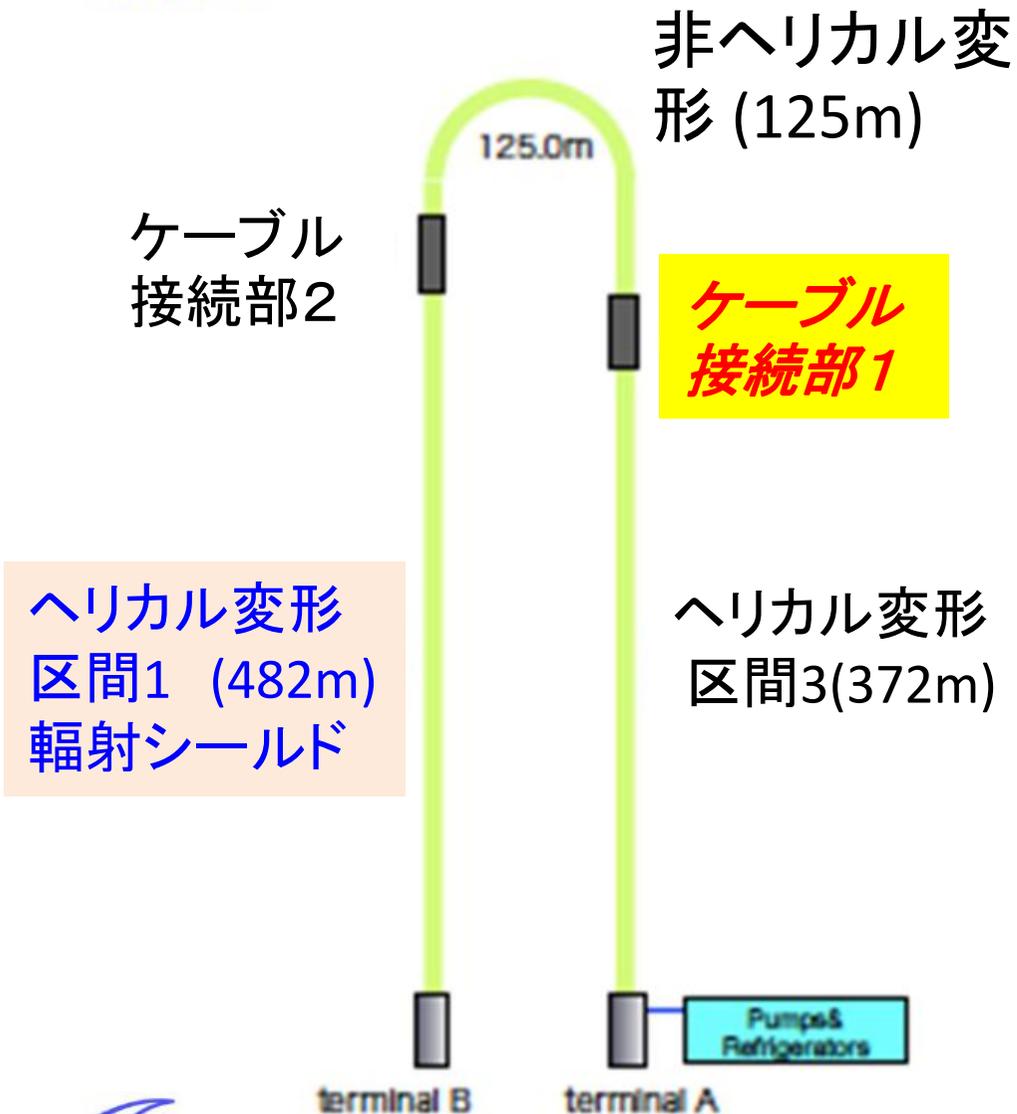
都内の地下変電所



都内の地下送電線

回線2 Layout他

Line 2



Modified from N. Chikumoto et al,
2A-LS-P-07.05, EUCAS 2015

石狩1kmケーブル実験施設

1km システム全景



断熱管外観



DC20kV, 5kA ケーブル



冷却システム



端末クライオスタット



石狩の成果

- 1) 太陽光発電設備からデータセンターへ超電導ケーブル給電
- 2) 世界一の断熱性能
- 3) より長い超電導ケーブルの見通し

石狩プロジェクト 回線2・区間1の冷却実験結果

	Pipe	Heat Leak [W/m]	Temp. Rise [K] @ 30L/min for 1000m
Cryopipe 1 No Radiation Shield	Cable	0.818	0.928
	return	0.462	0.525
Cryopipe 2 with Radiation Shield	Cable	0.034	0.040
	return	0.851	0.960

現状技術で到達可能パラメータ

- 1) ケーブル管の温度上昇は、0.8K for 10km @ 30L/min
- 2) 総熱侵入量は、8.9kW for 10km

次に、熱侵入量が0.5W/m以下になると、

- 1) 冷却ステーション間距離は20kmを越す
- 2) 他の課題もあり

- 1) 交流損が低いなら、
- 2) 交流ケーブルも可か！

10kmケーブルの見積もり

Radiation Shield	original data		
Length [m]	474	5,000	10,000
Flow Rate [L/min]	30	20	25
ΔP [kPa]_cable	5.20	24.38	76.18
ΔP [kPa]_return	8.50	39.85	124.53
cable ΔT [K]	0.019	0.301	0.481
return ΔT [K]	0.46	7.20	11.52
outlet temp [K]	70.47	77.50	82.00
Total Pressure [kPa]	13.70	64.23	200.71
Heat Leak [W/m]_cable	0.034	0.034	0.034
Heat Leak [W/m]_return	0.851	0.851	0.851
Total Heat Leak [kW]	0.42	4.43	8.85

両端にcooling station



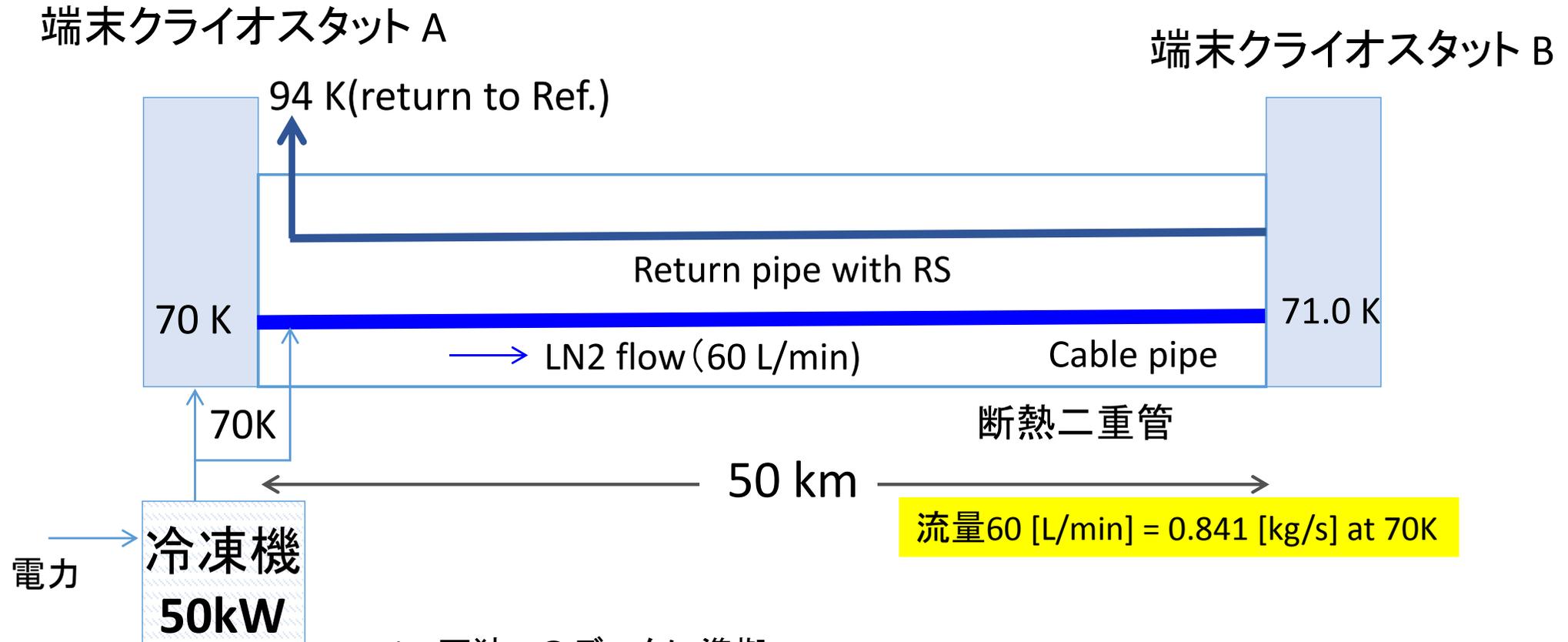
20kmの見積もり

- 1) ケーブル温度上昇 ~ 0.3K for 5km, and 0.5K for 10km 流量は 20-25L/min
- 2) 熱侵入量 ~ 4.5kW for 5 km, ~ 8.9kW for 10km
- 3) 圧力損失 < 40kPa for 5 km, and 125 kPa for 10km

次のステップでは熱侵入量は更に低減



50 km の設計例 (熱流体力学的な検討)



- 1) 石狩PJのデータに準拠
- 2) 50kmの間には冷凍機は設置せず
- 3) 標高差がないと管内圧力は最大5気圧

高速道路への導入 (想定)



1. 高速道路に沿って直流超電導送電線を布設
2. サービスエリア(SA)は20km - 50km毎にあり、(左図参照)SAに充電スタンドを置く(一部導入済み)
3. 充電スタンドでの電力変換器はDC/DC型
4. 従来の送電線との接続、REの取り込みなど

高速道路



1. 充電スタンドは従来型と同等
2. 冷却ステーションの設置面積は10m四方ほど
3. 超電導ケーブルは直径0.5m以下の鋼管パイプ

東名高速道路

(春日井—名古屋—豊田インター)

インターチェンジ間距離

春日井 — 名古屋 — 豊田

12.4km

14.8km



1. 丘陵地を通り、トンネルはない
2. 変電所から春日井ICまでは150m
3. 春日井ICから中部大までは1km
4. 豊田ICの周りに工場群

コスト比較検討++

超電導ケーブルコスト

1. 東電旭変電所PJ(~2018年度マデ): 130億円/km, 230m, 30億円(交流一回線)
2. 石狩PJ(2013年~): 27億円/km, 1500m, 40億円
(直流二回線, 交直変換器なし)
3. 100kmコスト試算(S4L研究会, 2018年度): 13億円/km, 100km, 1300億円
(直流一回線, 50kV, 500MVA, 超電導用交直変換器込*)
註*)従来線の変換器コストは安価

従来型送電線コスト

1. 日経新聞(2015年8月18日): 9.8億円/km, 100km, 980億円
(交流直流の記載なし)
2. 電力広域的運営推進機関: 4.8 - 9.1億円/km, 100km, 480~910億円
(架空交流二回線, 500kV*)
3. 同(H28年3月29日, 九電力会社): 5.0 - 10億円/km, 100km, 500~1000億円
(地中交流一回線, 275kV*)
註*): 地中線で50kmを超すと無効電力増大のため直流送電が必要
送電電力の記載はない

2019年に入り、中国製のHTS tapeコストは石狩プロジェクトの購入価格の1/6とのこと
太陽電池と同じことが起こるかも知れない！

ご静聴有り難うございました



Acknowledged to all members of CASER and *I-Spot & S4L*

