

再生可能エネルギー 輸送媒体としてのLNG

2022 0425

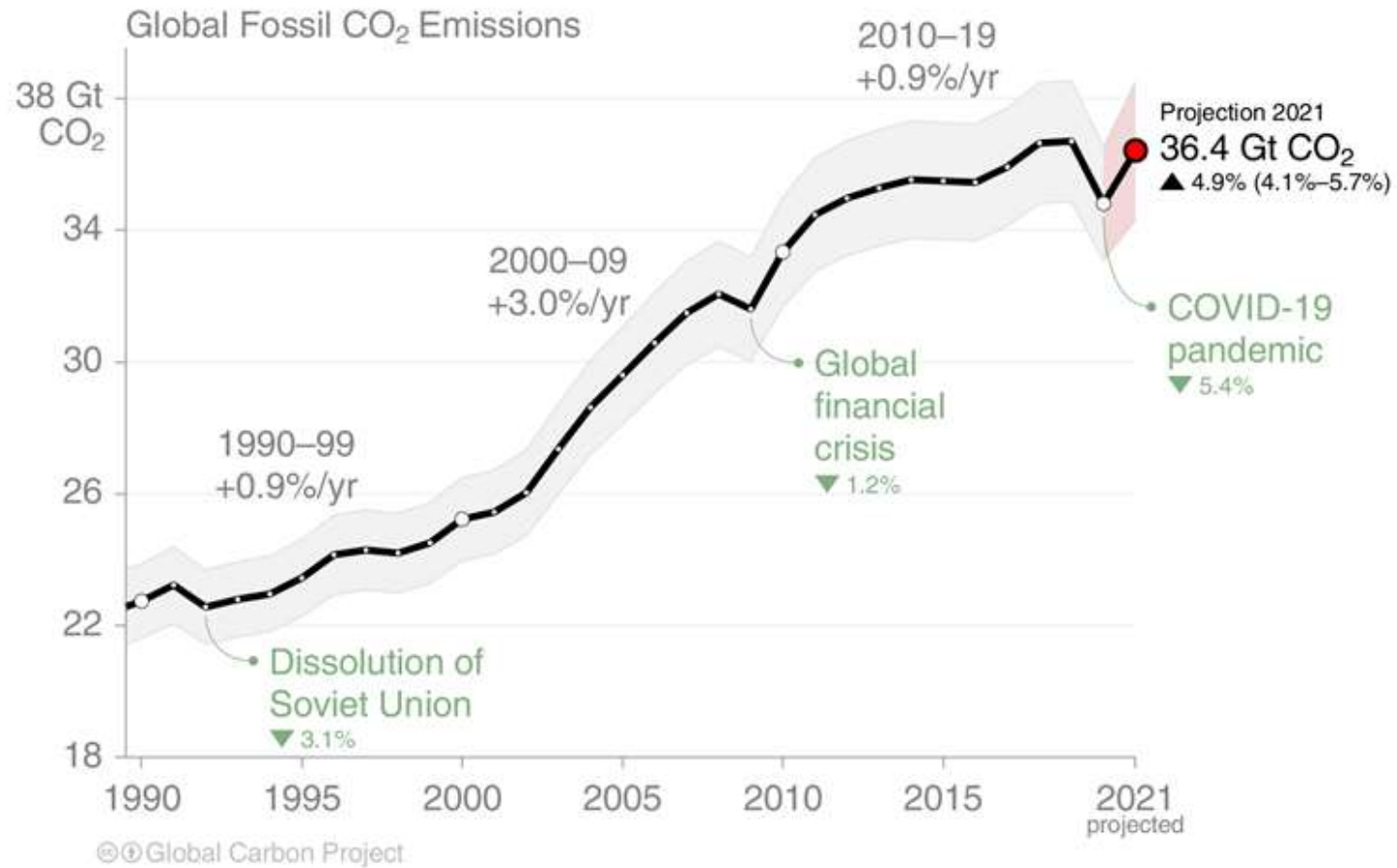
吉川技研

吉川喜次

研究の仮定基礎

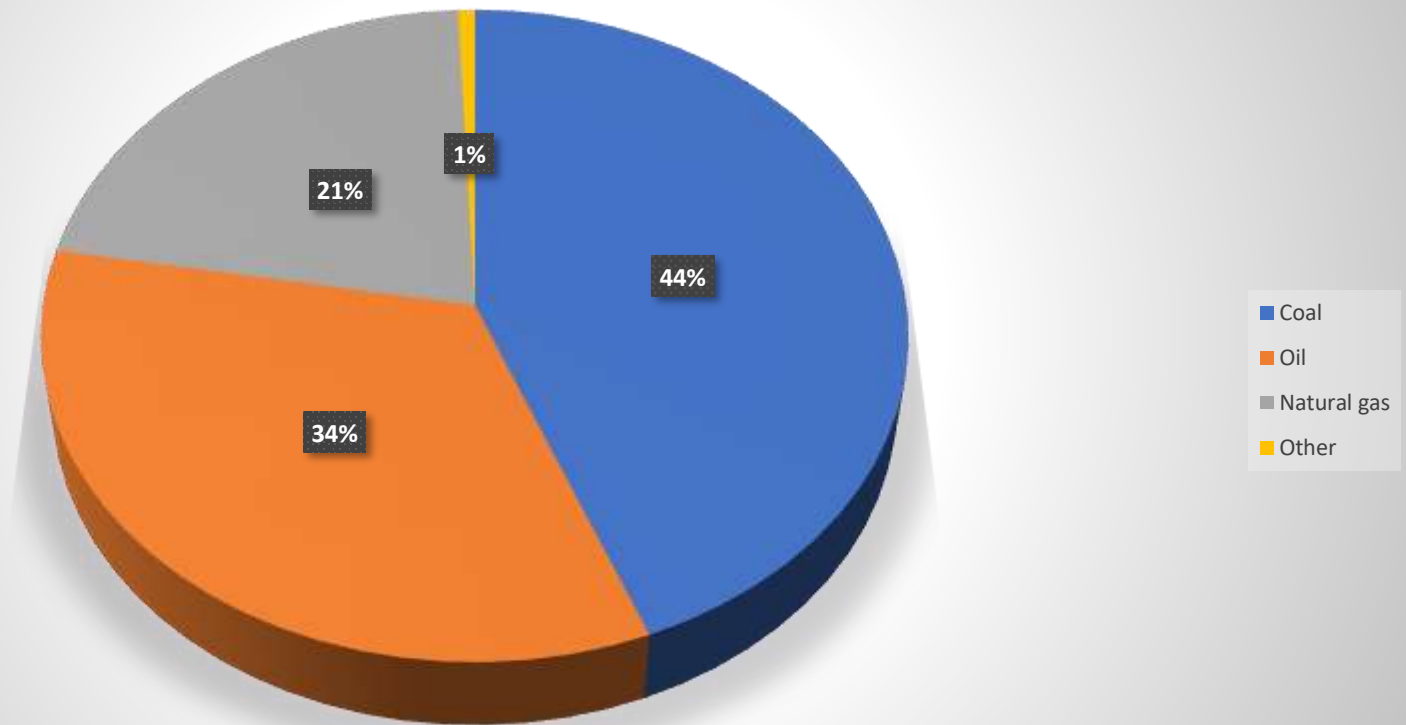
- プロジェクト予定年：2035年
- CO₂を排出しない
- 風力タービン容量：15GW
- PEM HHV効率：76.8%
- メタン化HHV効率：78%
- LNGプラントの最低稼働率：20%
- LNGプラントのHHV効率：98%
 - 292 電力 kW/tLNG
- LNG輸送距離：1,000-10,000 海里
- LNG受入ターミナル効率：99.9%
- 炭素回収を伴うCCGT、HHV：47.7%
- 電力系統からの炭素損失をLNGで補う コスト：350ドル/トン

化石燃料の排出動向



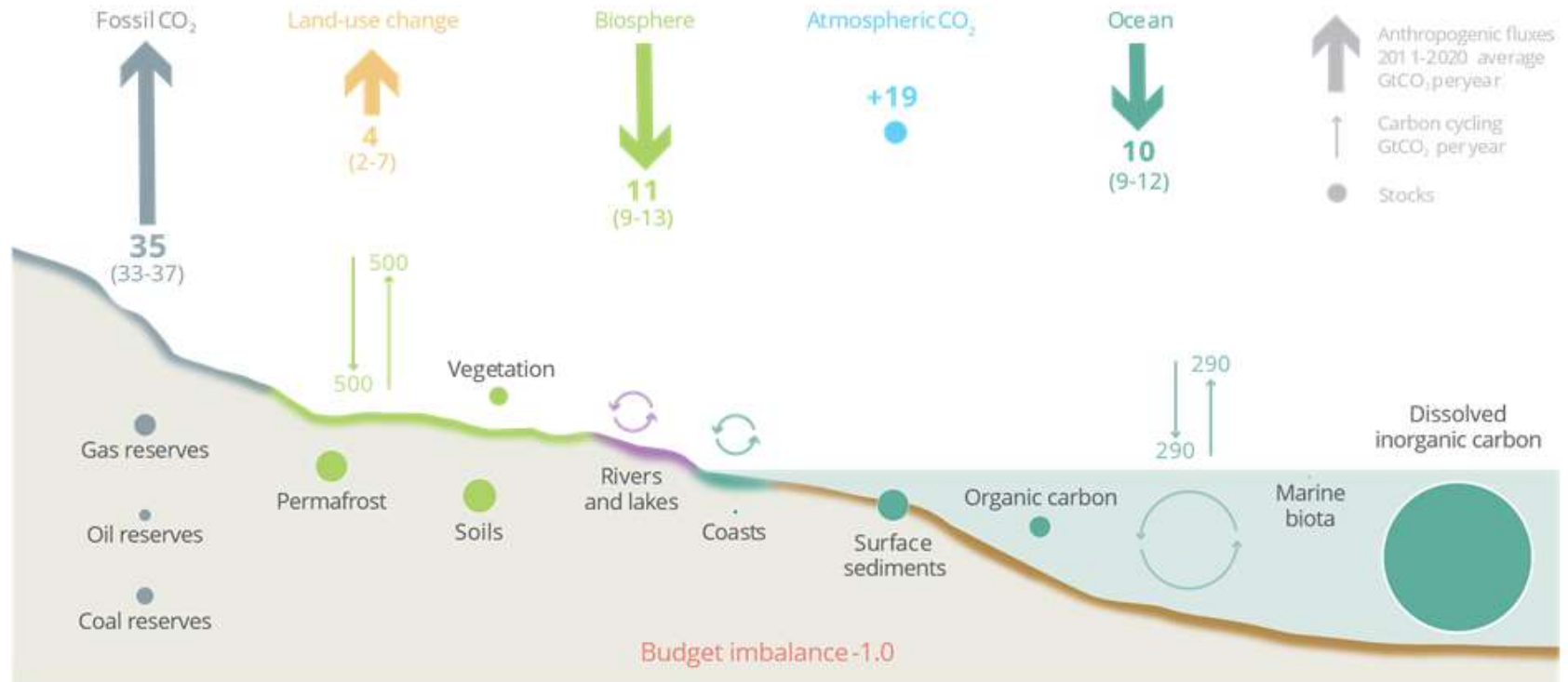
化石燃料からのCO2排出

CO2排出量

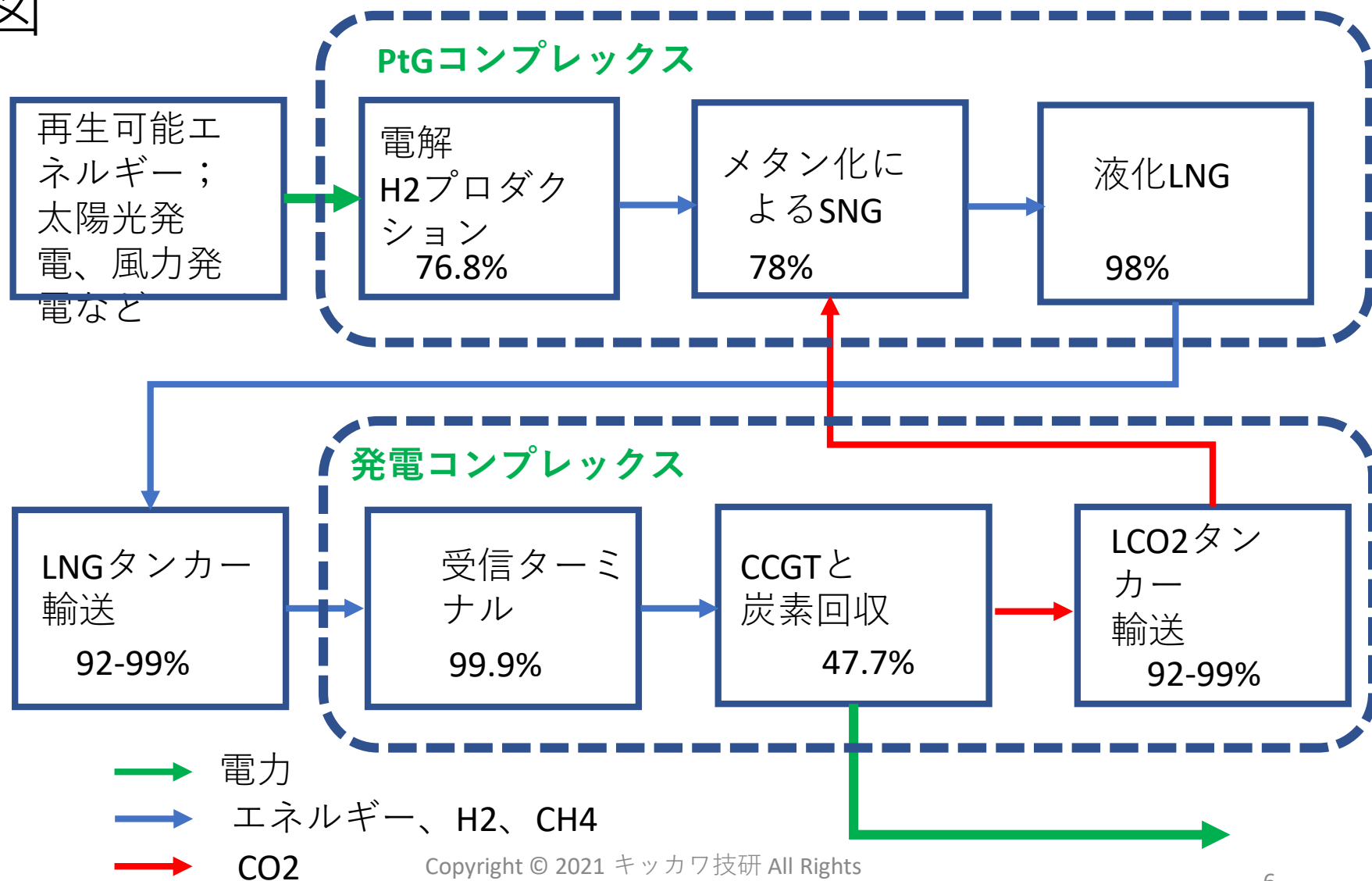


世界のCO2収支

大気中のCO2, 677Gt



再生可能なLNGシステム：典型的なサンキー図



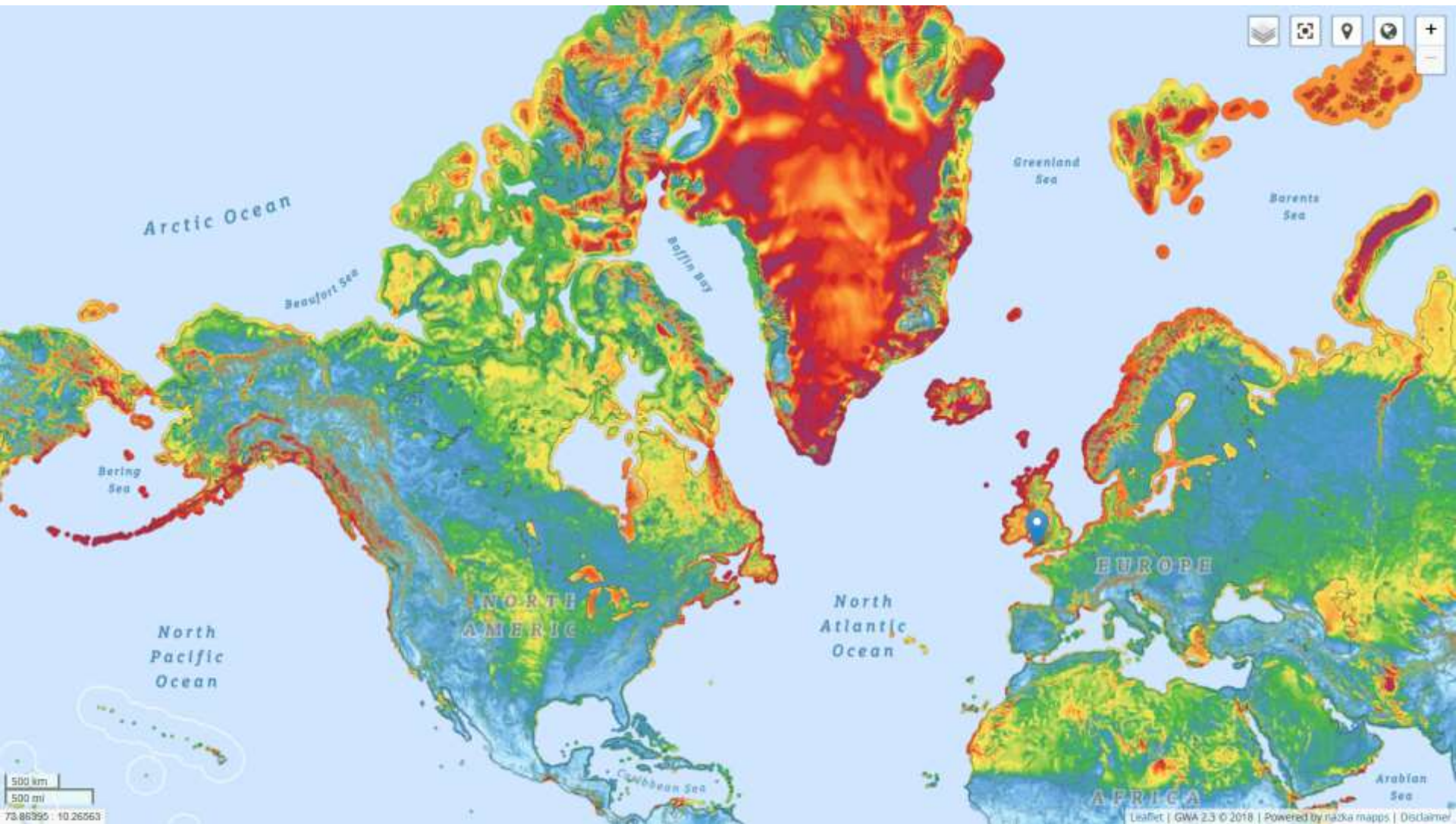
再生可能な**LNG**システム：典型的なサンキー図

- 参考文献 [\(10\) \(PDF\) Economics of Global LNG Trading Based on Hybrid PV-Wind Power Plants \(researchgate.net\)](#)
- 上記の文献と大きく異なるのは、**DAC**（直接空気捕捉）は、性能とコスト見積もりの不確実性のために選択されなかったことである。

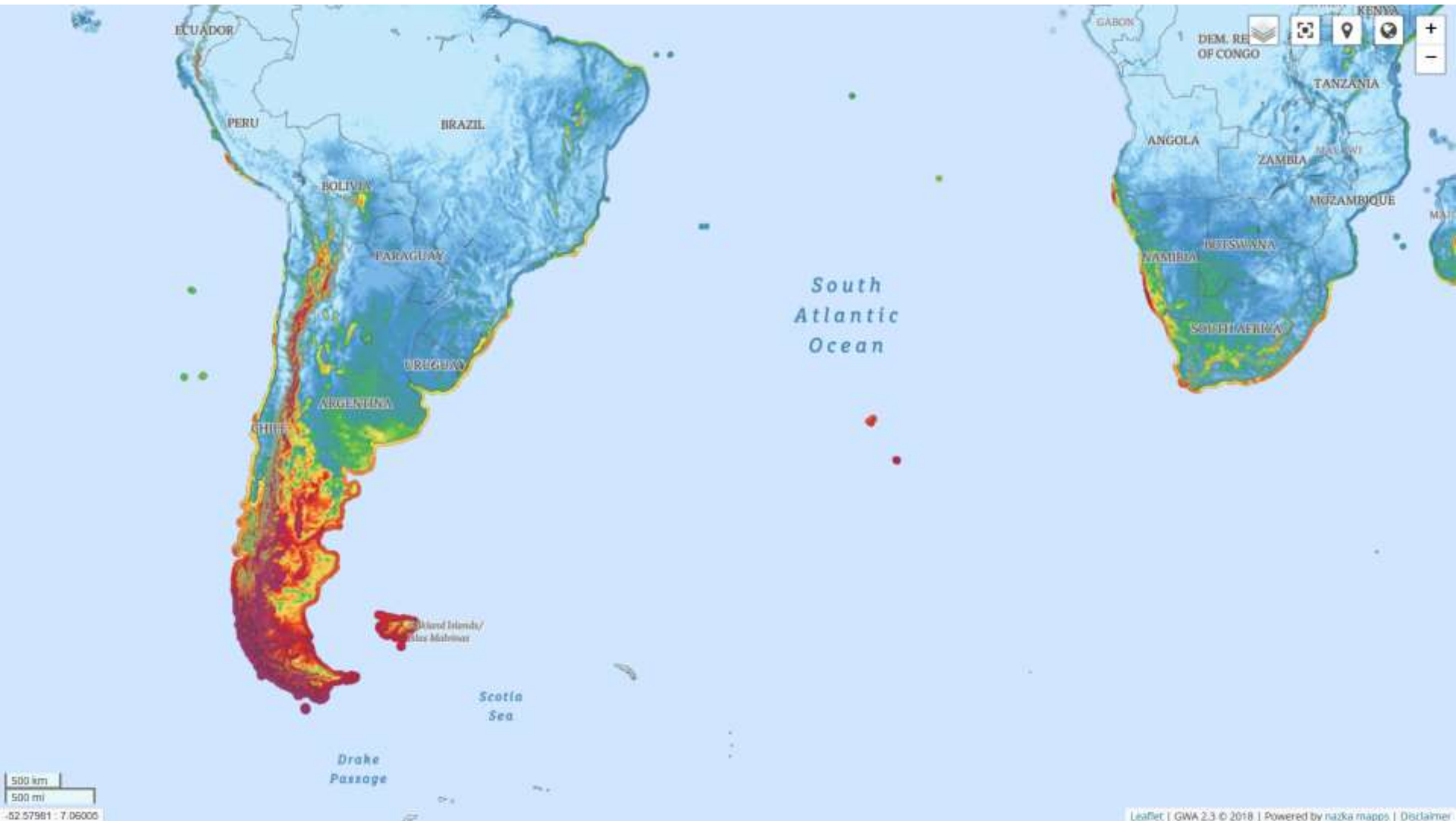
スキーム・ケーススタディ

	ケースA	ケースB	ケースC	ケースD
技術開発度合	現在のトレンド	将来	将来	将来
風力タービン・サイズ、MW	5.5	9.5	15	15
LNGタンカーサイズ、m ³	138,000	266,000	266,000	266,000
LNGタンカー燃料率、%/日	0.17%	0.14%	0.14%	0.14%
LCO ₂ タンカーサイズ、m ³	90,000	160,000	160,000	160,000
LCO ₂ タンカー燃料率、%/日	0.12%	0.08%	0.08%	0.08%
CCパワープラント AGR CO ₂ 回収率、%.	90%	99%	99%	99%

風力発電の可能性-北半球



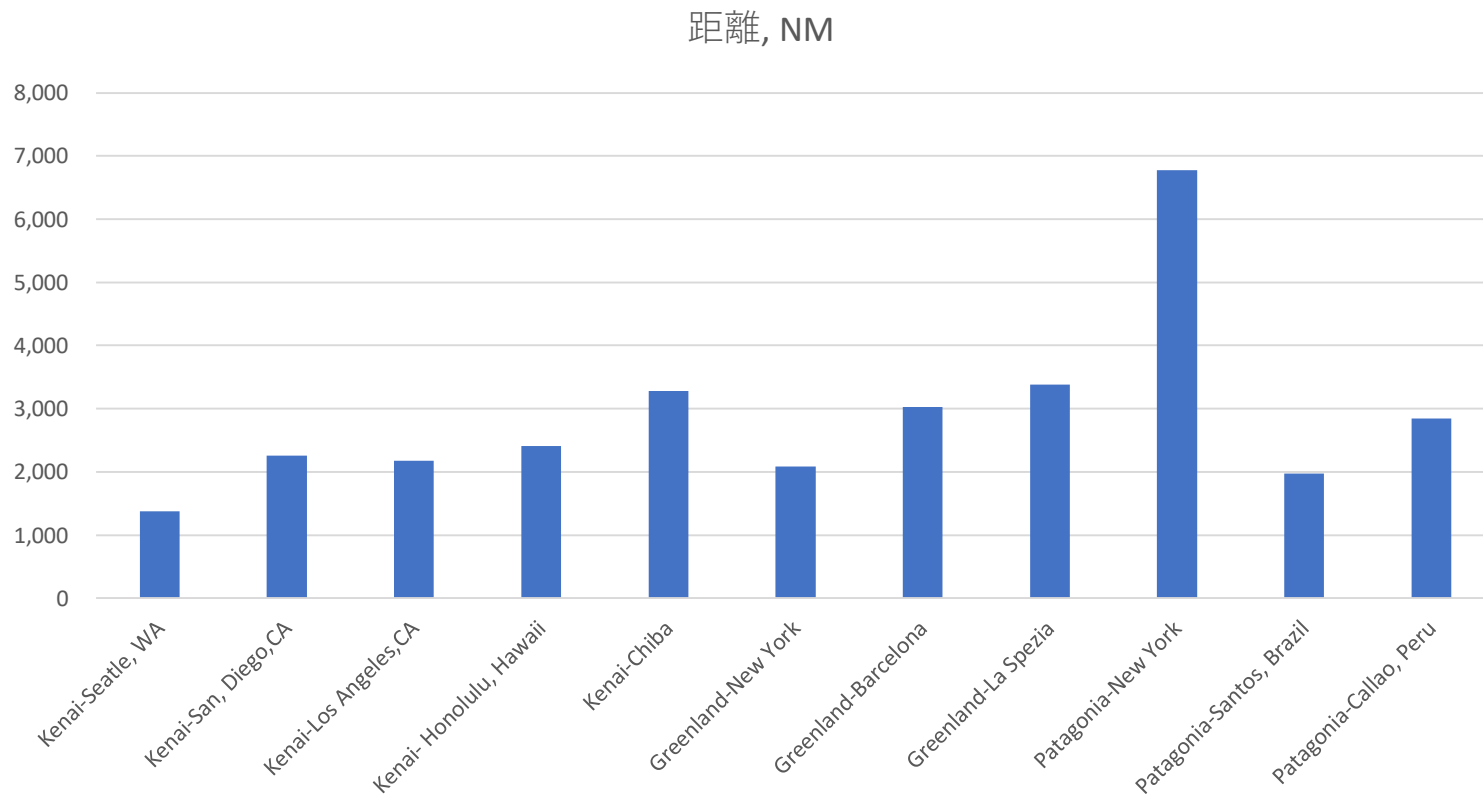
風力発電の可能性-南半球



風力発電ポテンシャル地域

- 北半球：緯度50度以北
 - アラスカ, カナダ, グリーンランド, アイスランド, 北ヨーロッパ, イギリス, 北海
- 南半球
 - パタゴニア：チリ、アルゼンチン
- アラスカは、政府当局から毎時の風況データが入手可能であったため、この研究に選ばれた：
アラスカエネルギー局
(www.akenergyauthority.org/programwind.html)

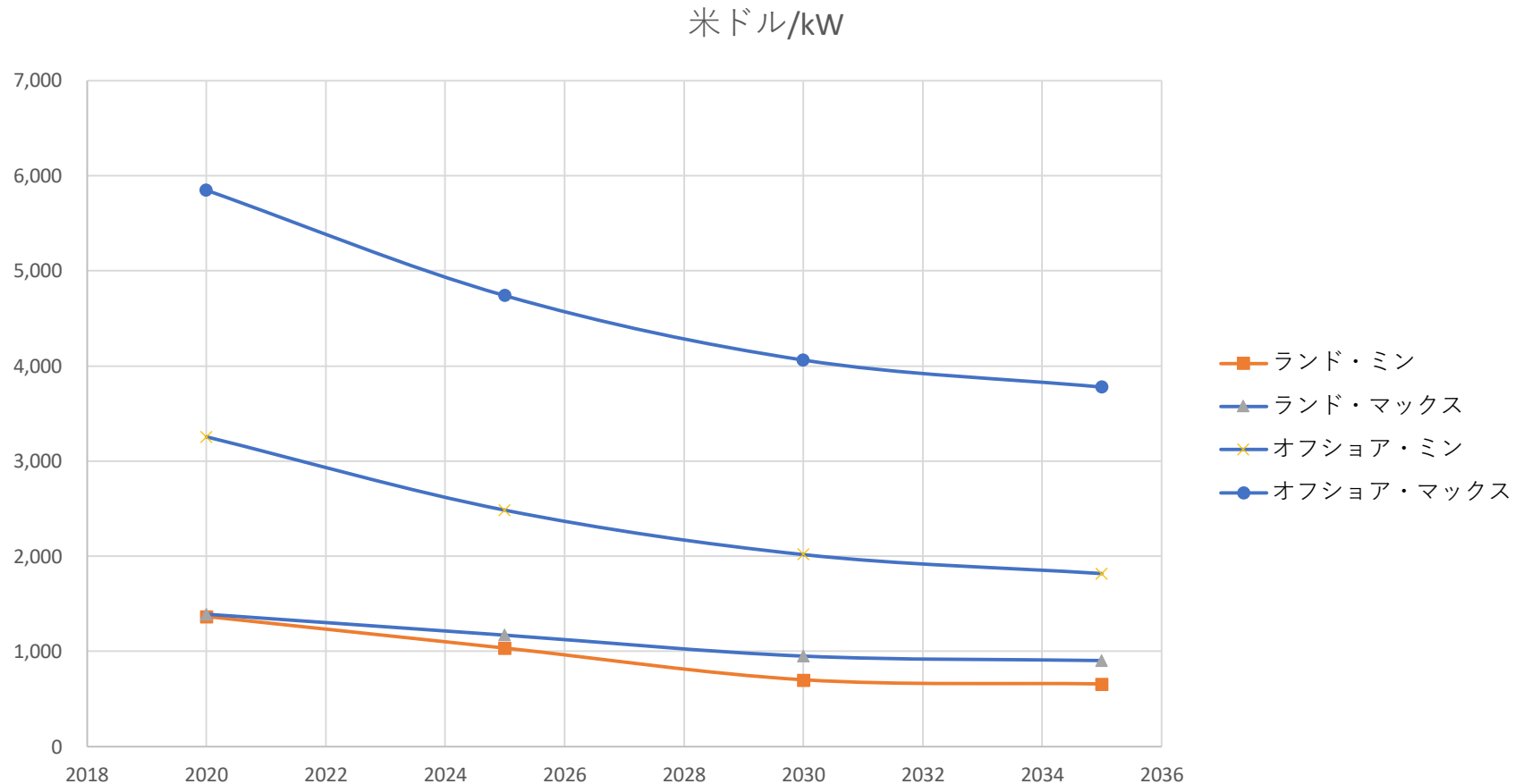
LNG輸送距離、 ニューメキシコ州



NREL風力タービンコスト予測、US\$/kW

年	陸上小	陸上大	海上上小	海上大
2020	1,369	1,392	3,252	5,849
2025	1,035	1,171	2,484	4,741
2030	700	950	2,019	4,064
2035	656	903	1,820	3,780

NREL風力タービンのコスト動向 US\$/kW



タービン定義ケース

ケース	A	B	C	D
設備投資見通し、 年	2035年、最大	2035, 最小.	2035年、最大	2035, 最小.
風力タービンのタ イプ	オンショア、 GEサイプレス	MHI ベスタス 174	ベスタスV236- 15MW	ベスタスV236- 15MW
風力タービン定格 、MW	5.5	9.5	15	15
平均風速 m/s	7.7	9.7	11.6	11.6
タービン位置	オンショア	オンショア	オフショア	オフショア
CO2ソース	発電所からの リサイクル	発電所からのリ サイクル	発電所からのリ サイクル	発電所からの リサイクル

選択した風力タービンと間隔、 ケースA

風力発電所容量、MW	15,000	
GEサイプレス、MW	5.5	
GEサイプレス, D, m	158	
風力タービン総数	2,727	
		行または列の番号
間隔 風向 X, 7D, m	1,106	39
風向に垂直な間隔 X, 4D, m	632	69

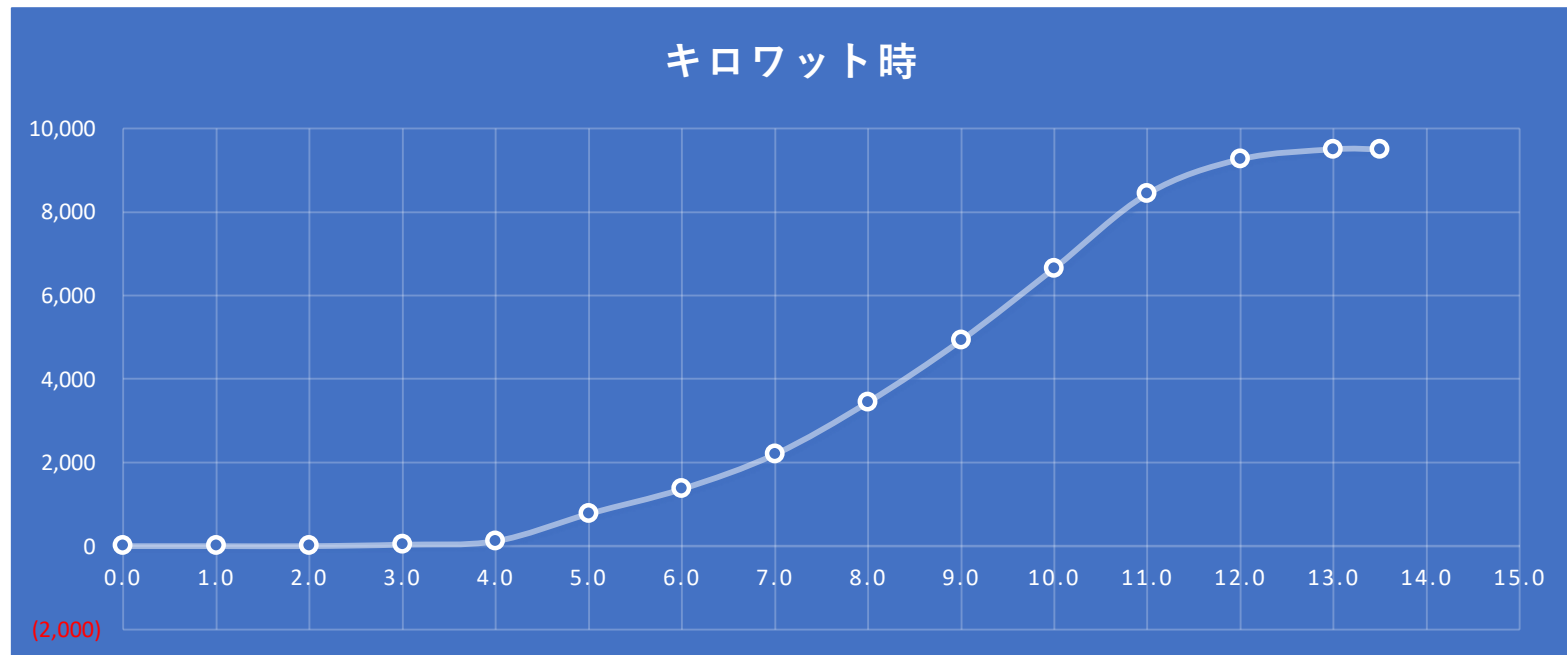
GEサイプレス、 5.5WM



<https://en.wind-turbine-models.com/fotos/P71tja4hNw2-ge-general-electriccypress-5.3-158-5.3mw-ウインドタービン発電機-ベクム-ドイツ>

代表的な風力タービンデータ

- 風力タービンのタイプ MHI VESTAS V174 5.5MW
- カットイン速度：3m/s
- カットアウトスピード：25m/s



選択した風力タービンと間隔、 ケースB

風力発電所容量、MW	15,000	
ベスタス174、MW	9.5	
ベスタス 174, D, m	174	
風力タービン総数	1,579	
		行または列の番号
間隔 風向 X, 7D, m	1,218	30
風向に垂直な間隔 X, 4D, m	696	53

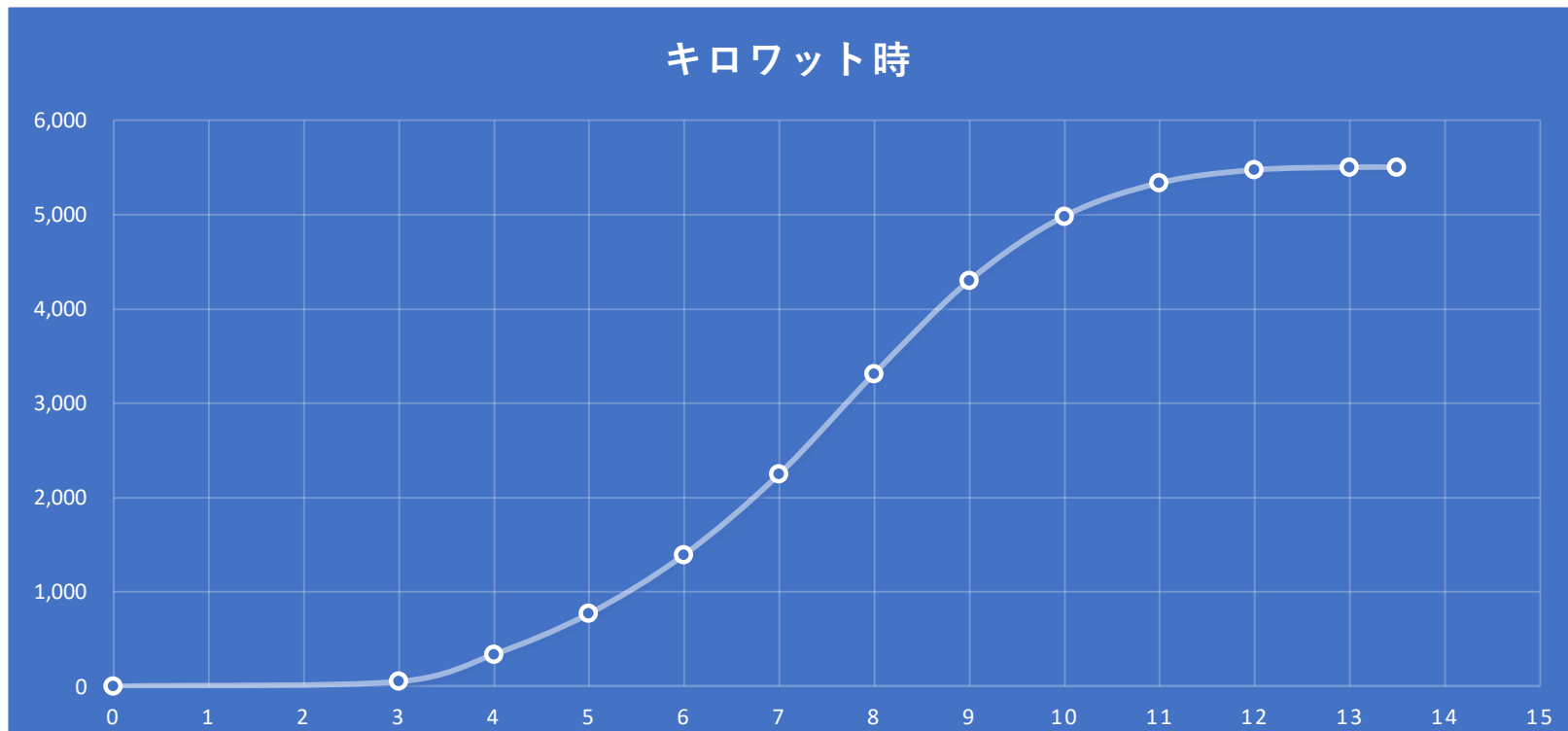
MHIベスタス、
9.5MW



<https://en.wind-turbine-models.com/turbines/2138-mhi-vestas-offshore-v174-9.5?picture=NlgetDzOFGV>

代表的な風力タービンデータ

- 風力タービンのタイプGEサイプレス9.5MW
- カットイン速度：3m/s
- 切り出し速度：25m/s



選択した風力タービンと間隔、 ケースC,D

風力発電所容量、MW	15,000	
ベスタス	15	
V236-15MW	236	
風力タービン総数	1,000	
		行または列の 番号
間隔 風向 X, 7D, m	1,652	24
風向に垂直な間隔 X, 4D, m	944	42

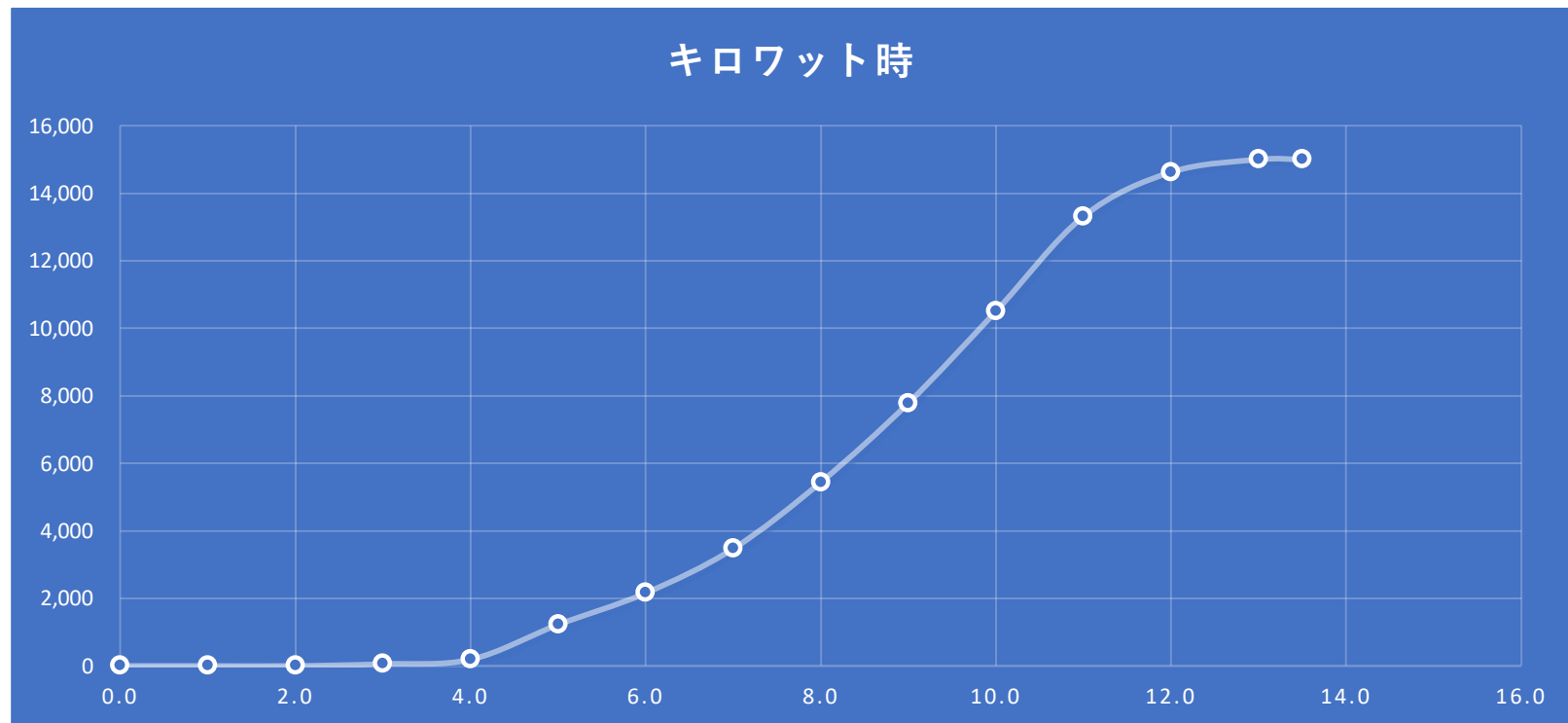
ヴェスタス、
15MW



V236-15.0 MW™ (vestas.com)

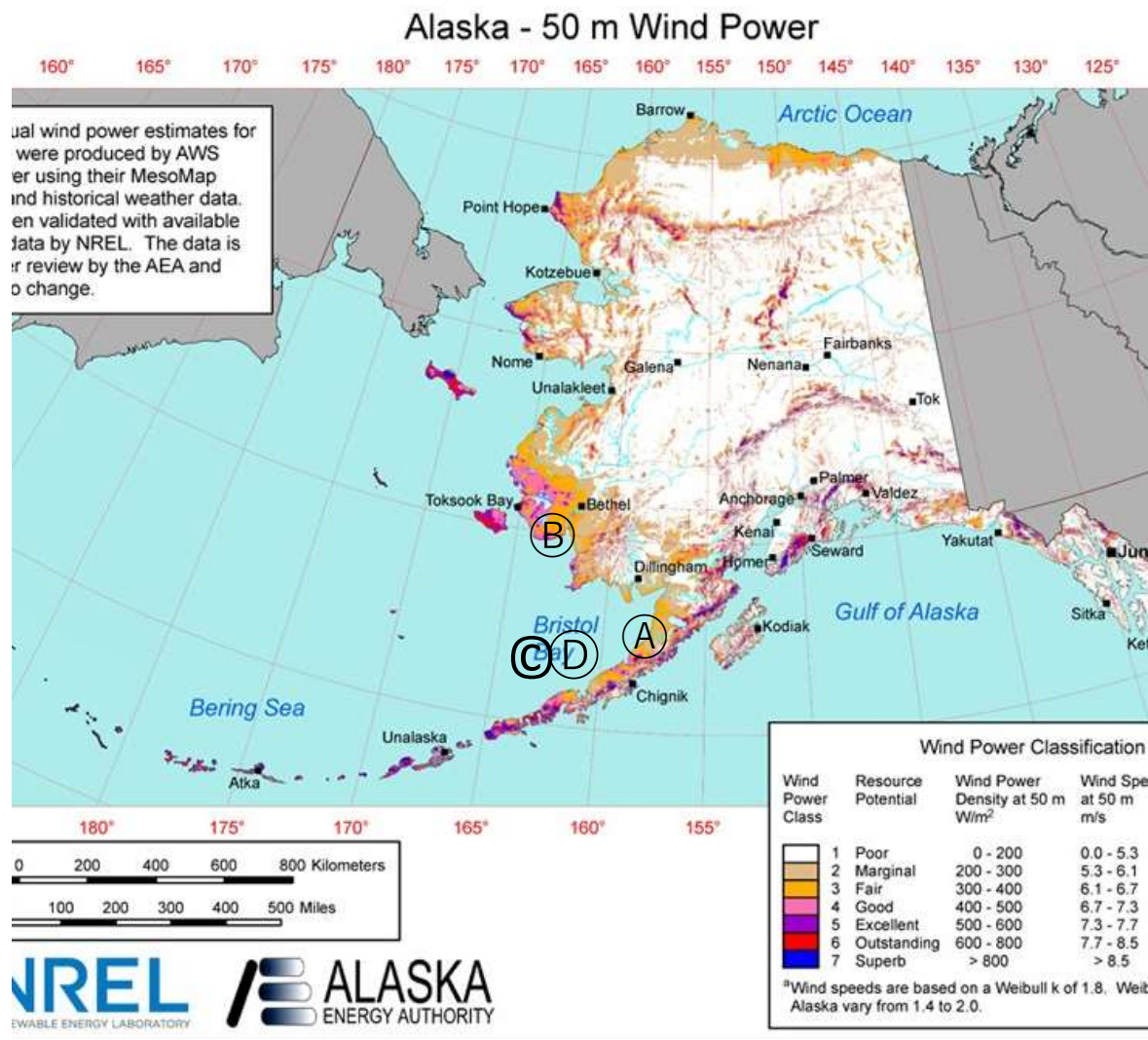
代表的な風力タービンデータ

- 風力タービンのタイプベスタスV235-15MW
- カットイン速度：3m/s
- カットアウトスピード：30m/s



典型的な陸上風力発電所





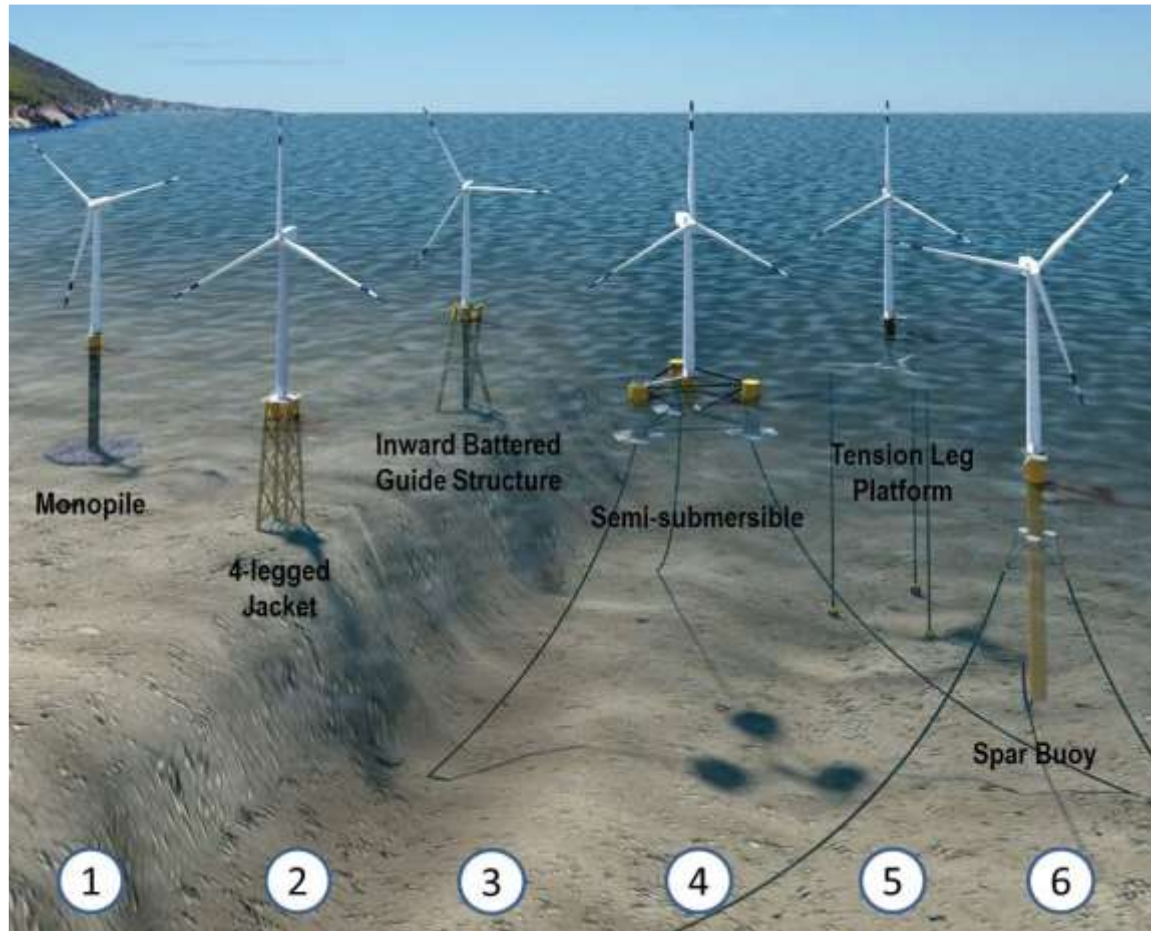
1時間ごとの風データ例

- ポイントA、アラスカ、平均風速：7.74m/s
- ポイントB、アラスカ、平均風速：9.75m/s
- アラスカ、ポイントC、平均風速：11.6m/s
- ポイントD、アラスカ、平均風速：11.6m/s

www.akenergyauthority.org/programwind.html

洋上風力タービンの構造

水深60mまでは固定式（1～3）を適用





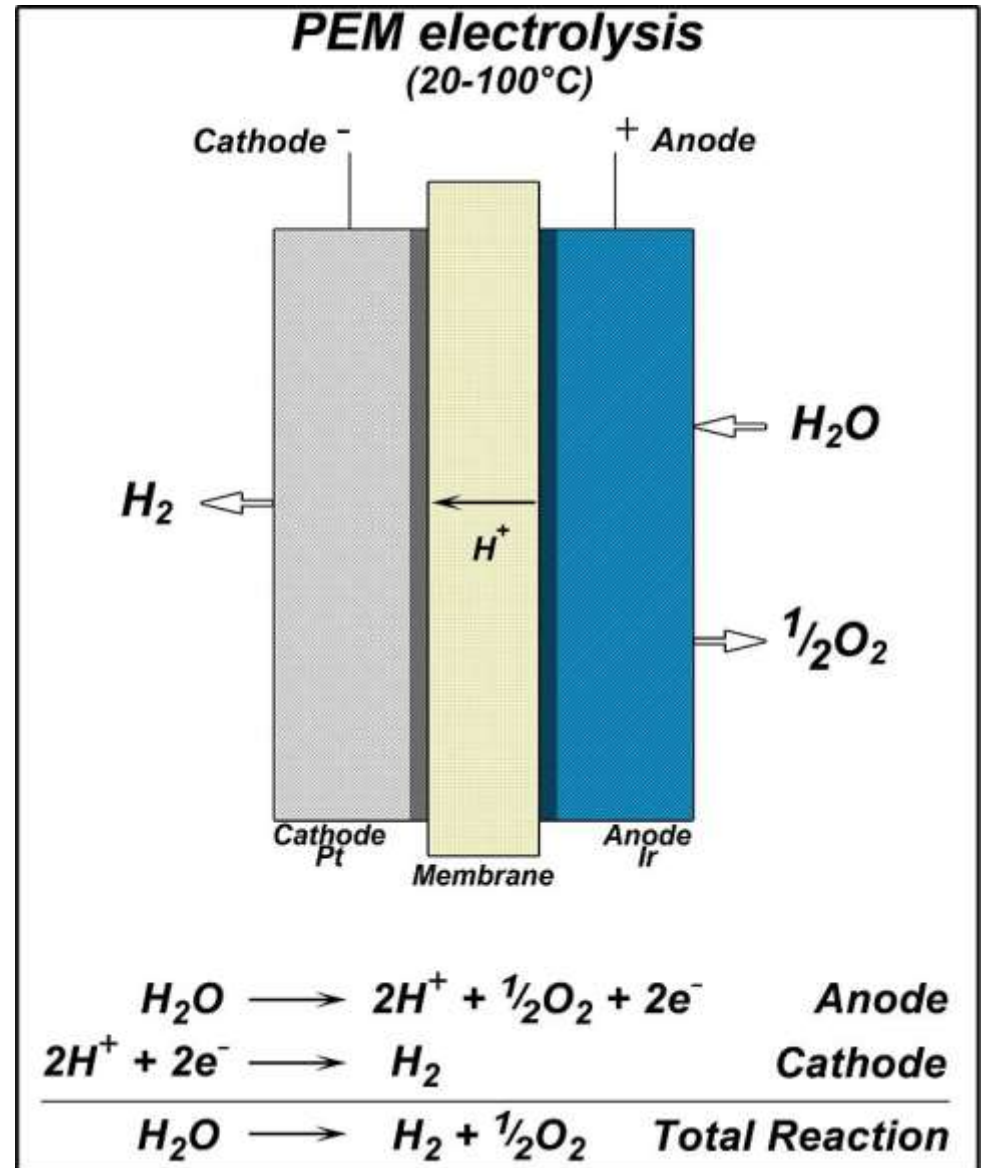
海の深 さ、アラ スカ

グーグル・アース・プロ
海拔-100m～-30m

PtGコンプレックス用緩衝系

- リチウムイオン電池（LIB）による風力発電の日次変動の平準化
- PEM電解水素パイプによる風力発電の平準化された季節変動
 - 100 bar 水素パイプブロック

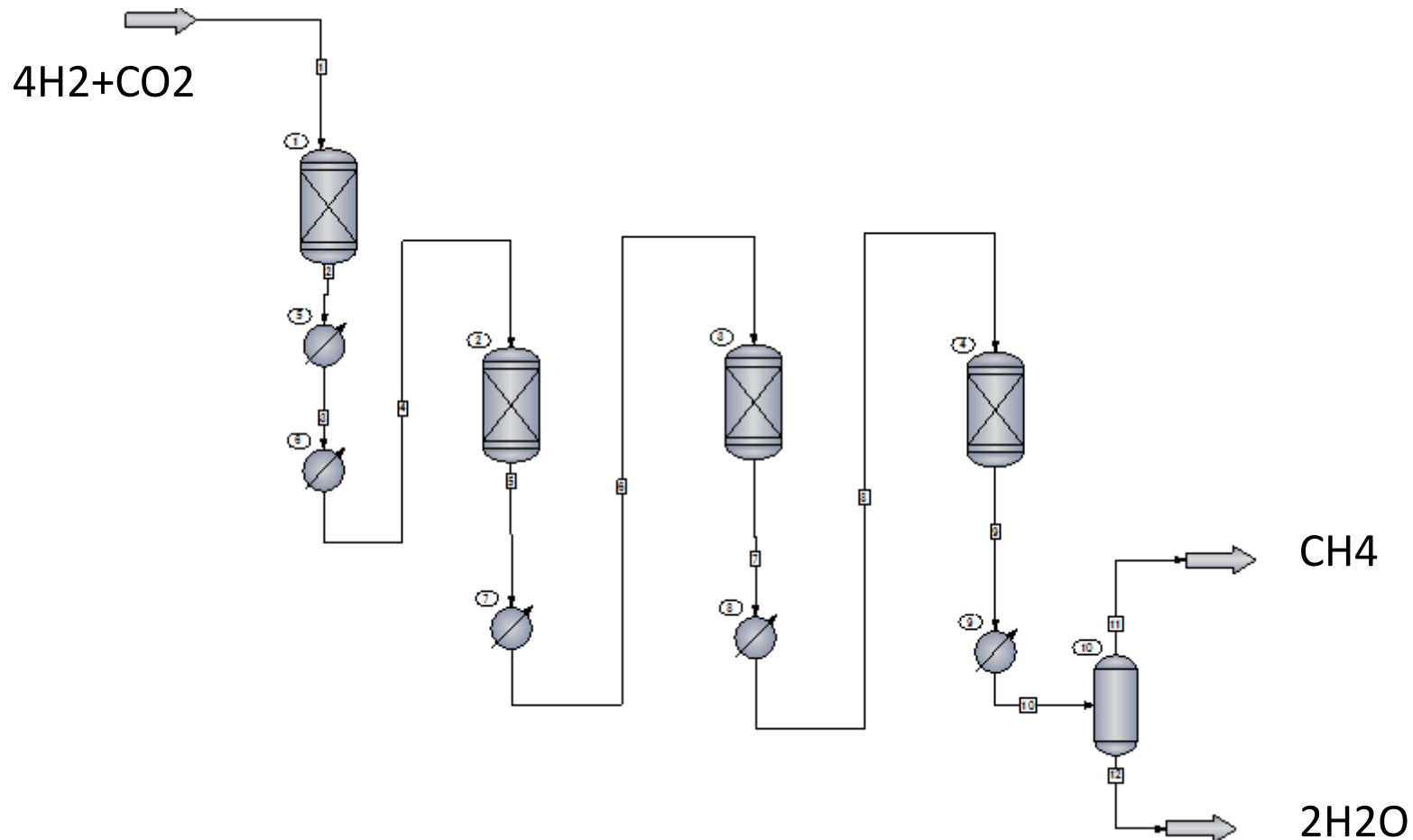
プロトン 交換膜



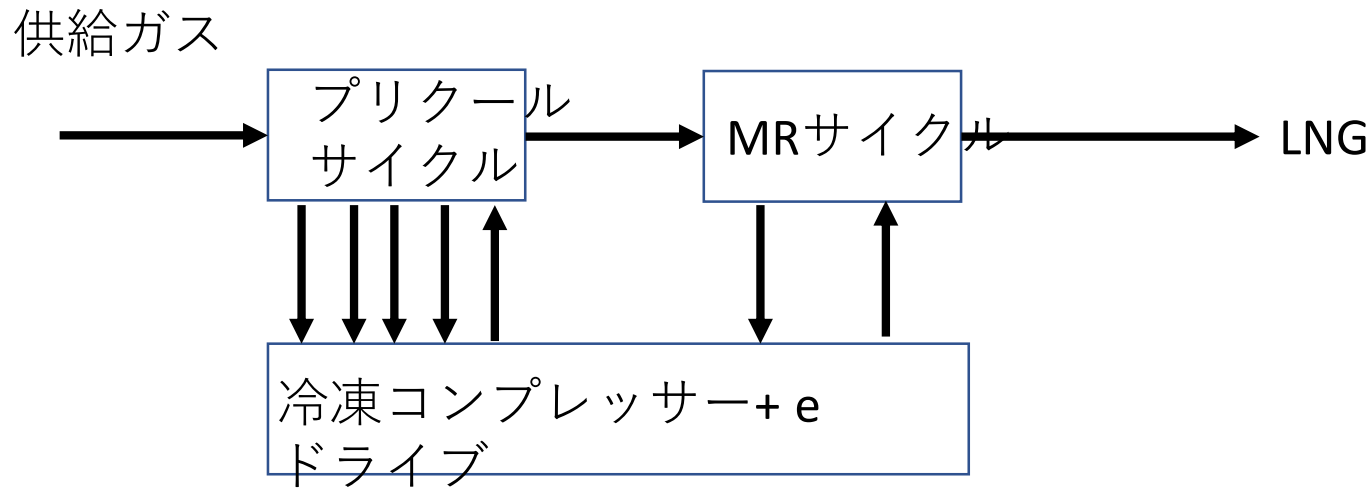
By DavidIfritz

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=26111847>

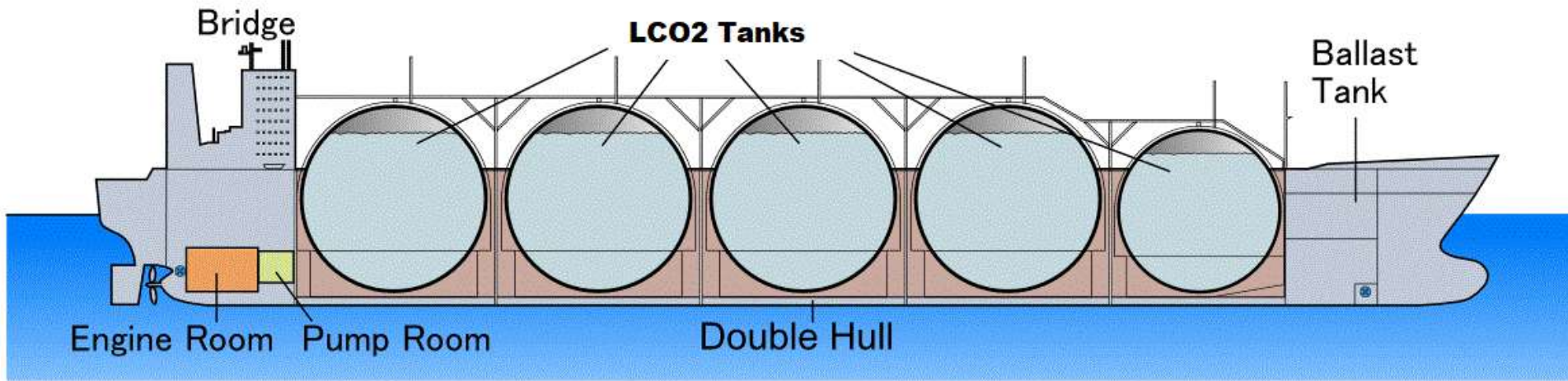
メタン化プロセス（サバティエ反応）



液化プロセス（C3-MRプロセス）



LCO2 Tanker



LCO2出荷

ウィキペディアの「LNGタンカー」より改訂

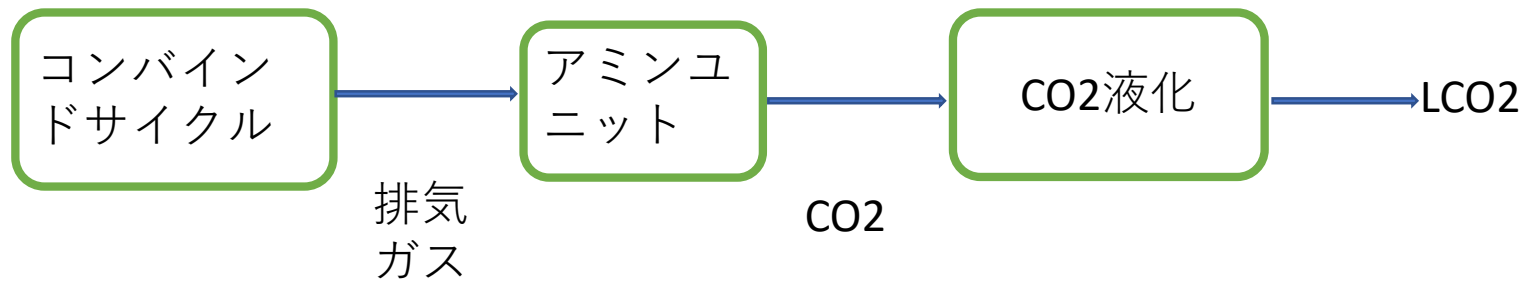
参考：[CO2の船舶輸送 \(ieaghg.org\)](http://ieaghg.org)



LNG船

- [LNG船 - Wikipedia](#)

CCS付き複合サイクル



電力コストはLCOEで評価される：
LCOEは以下のように計算される：

$$\text{LCOE} = \frac{\text{sum of costs over lifetime}}{\text{sum of electrical energy produced over lifetime}} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

I_t : t 年の投資支出

M_t : t 年の運転・維持費

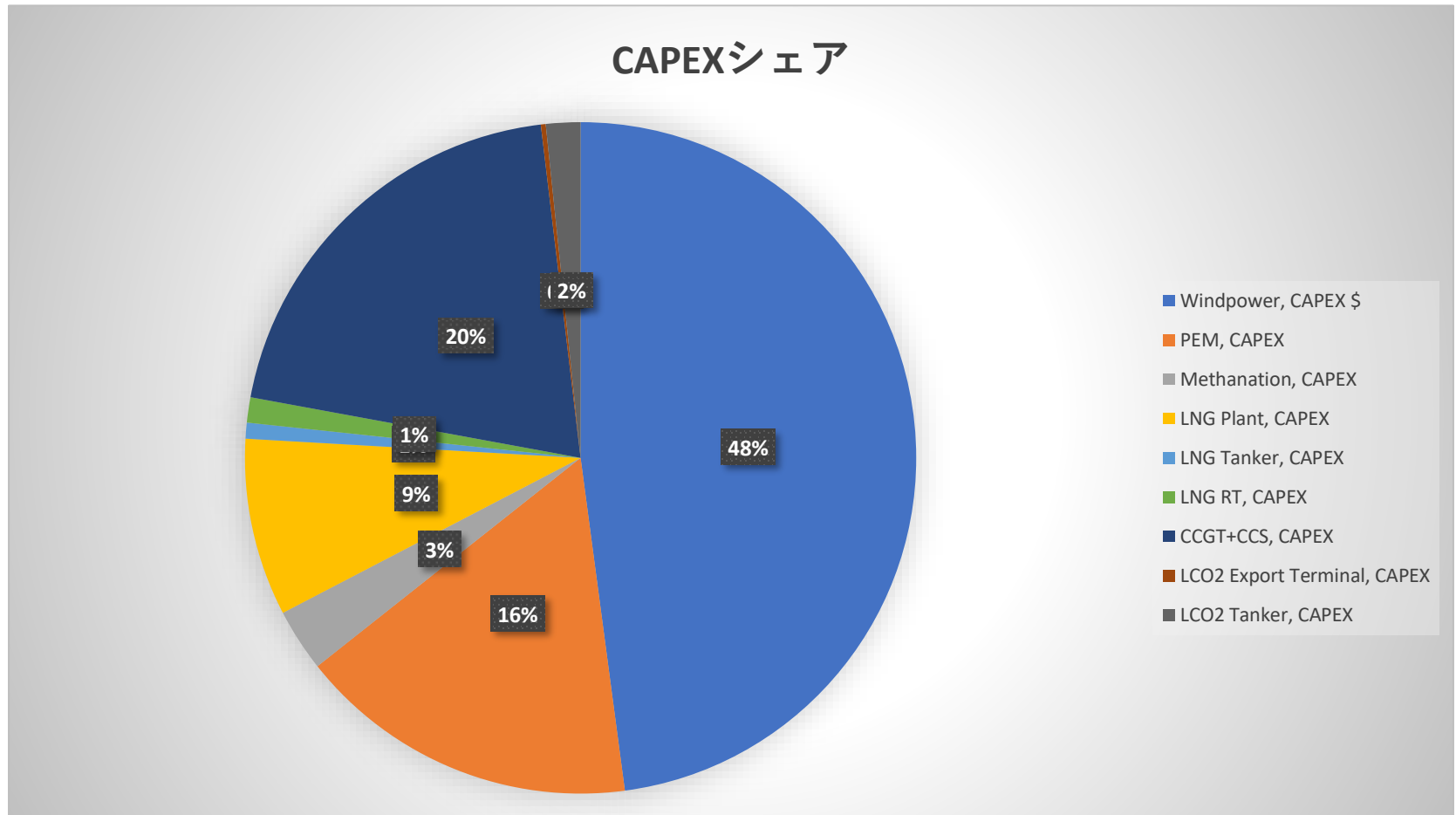
F_t : t 年の燃料費

E_t : t 年の発電電力量

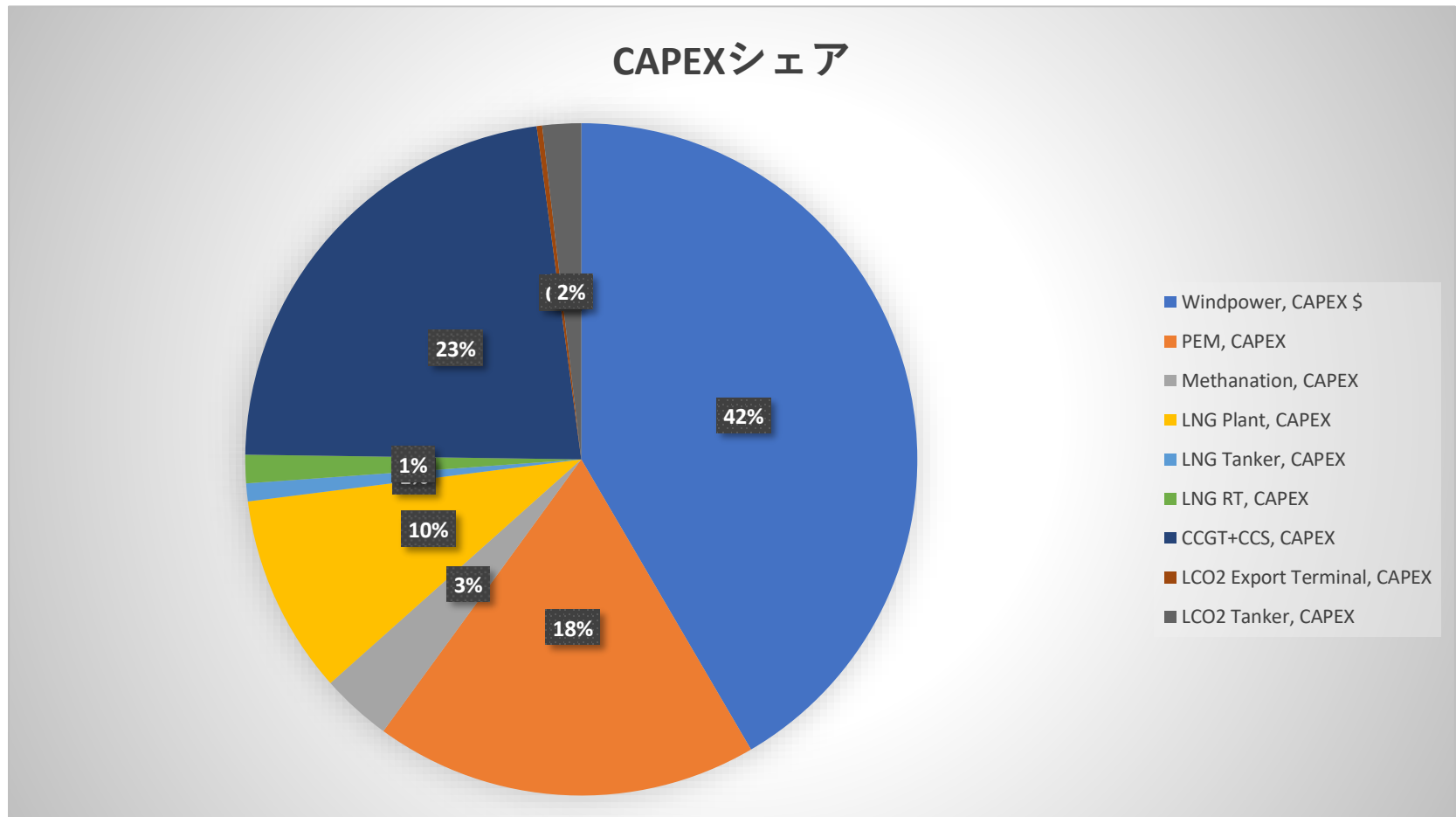
r : 割引率

n : システムまたは発電所の予想寿命

ケースA CAPEX B\$:48.2

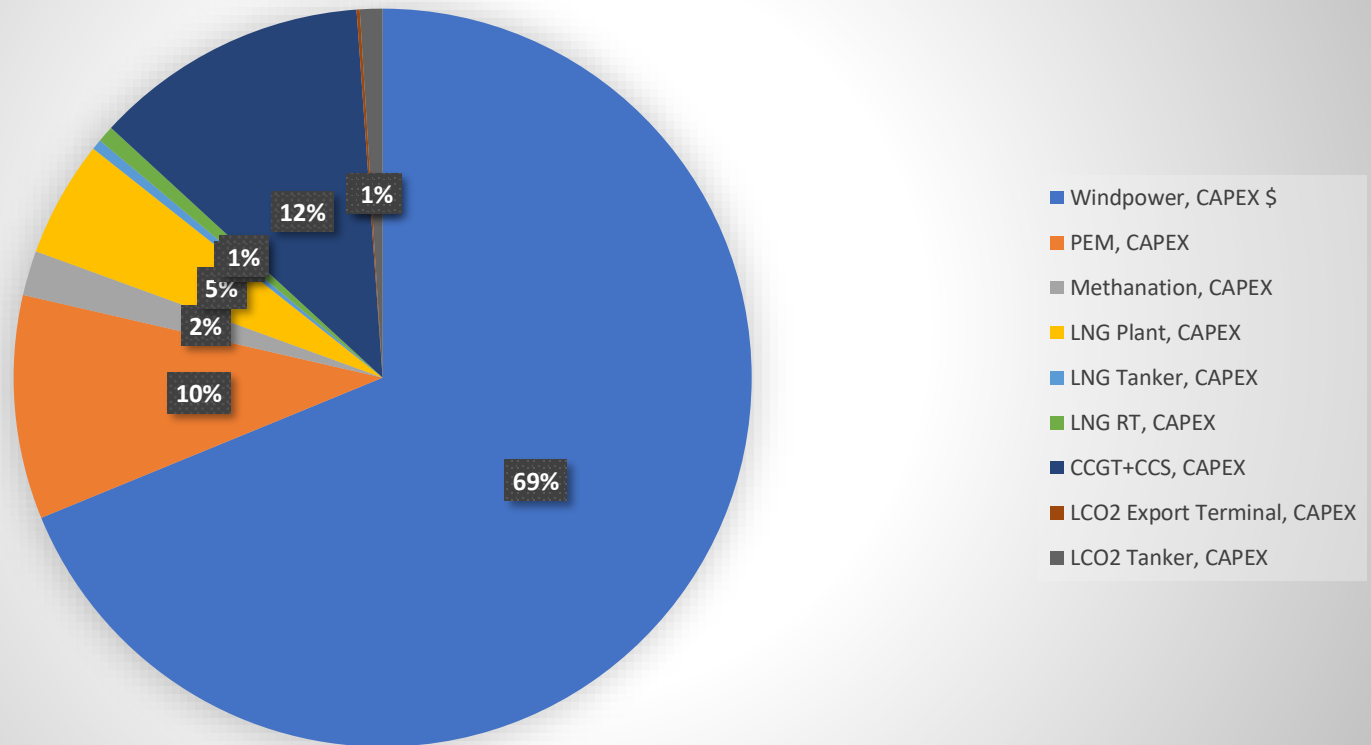


ケースB CAPEX B\$:43.0

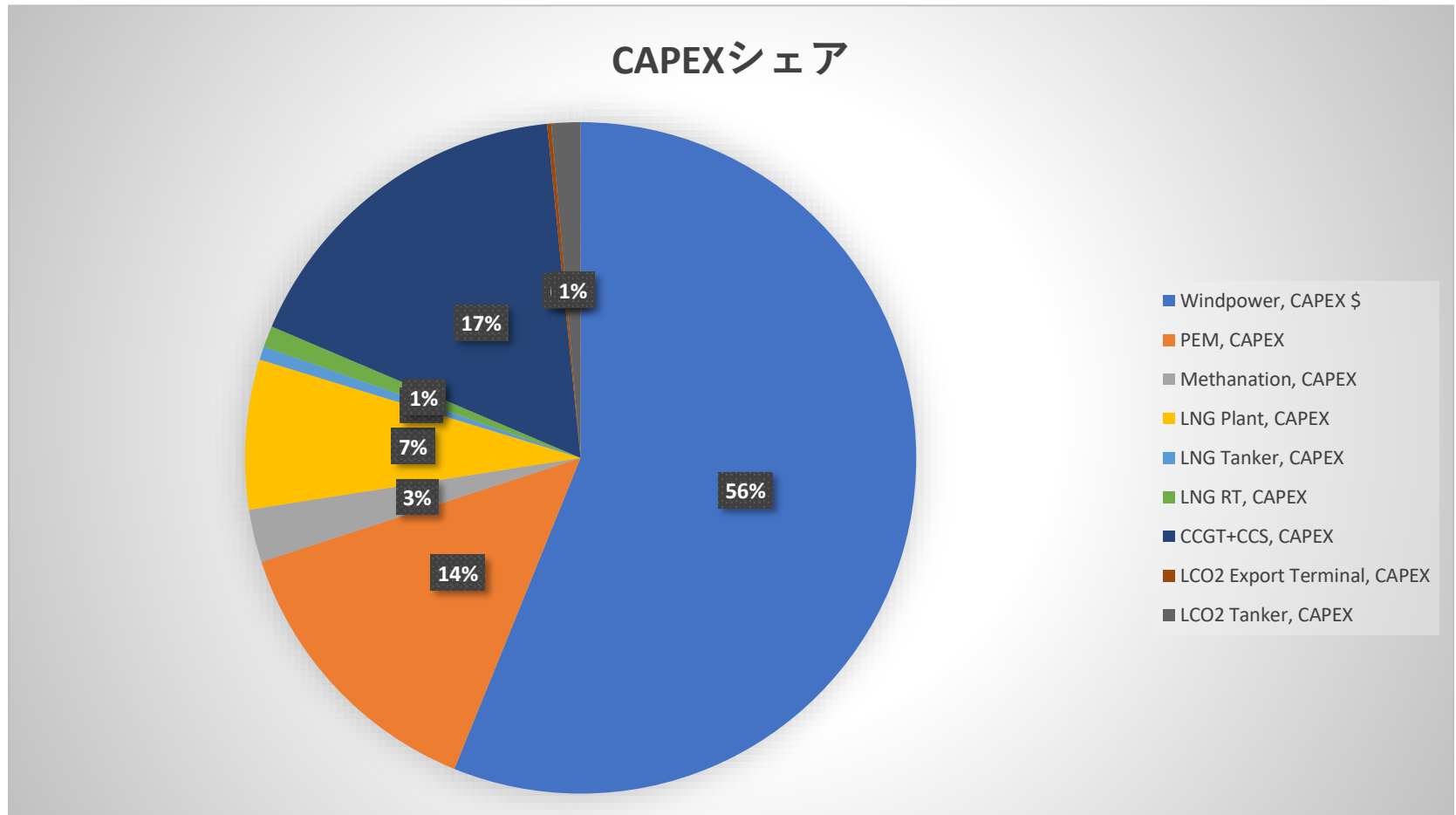


ケースC CAPEX B\$:80.8

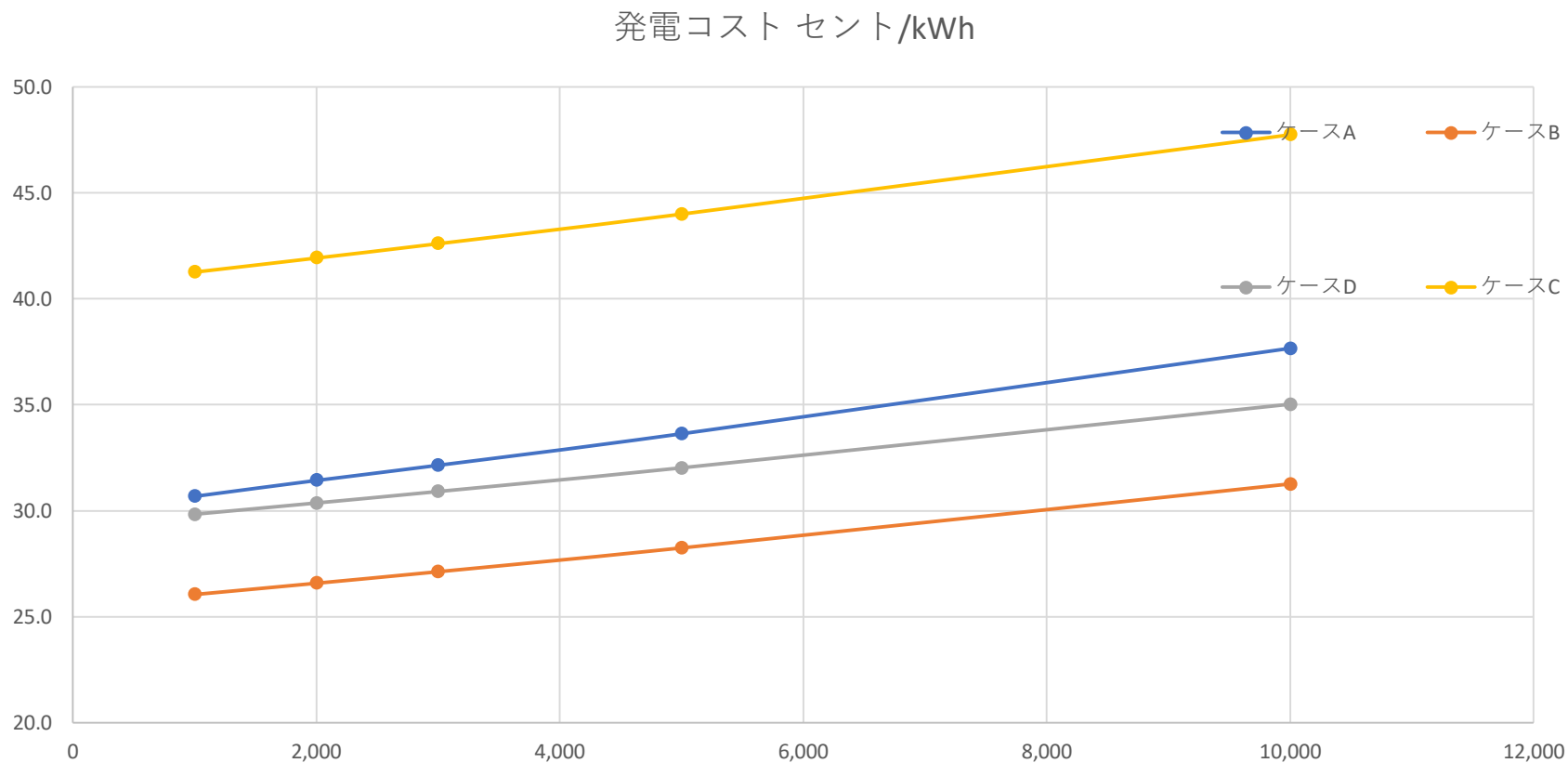
CAPEXシェア



ケースD CAPEX B\$:57.2



発電コストと輸送距離（海里）



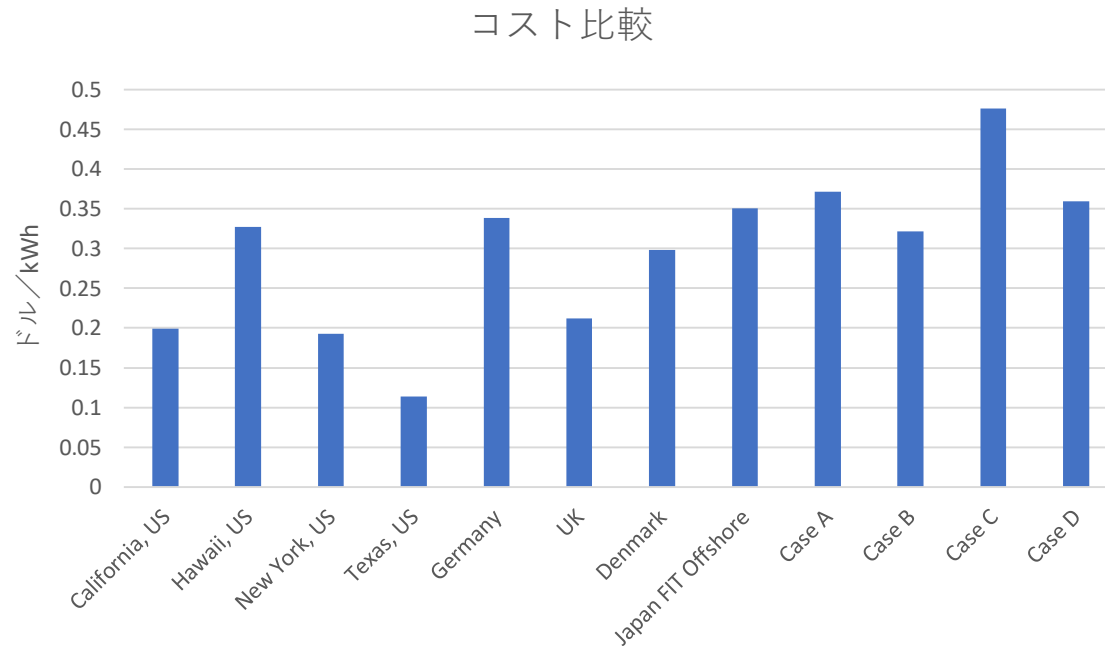
CCGT発電量、MW

距離, NM	1,000	2,000	3,000	5,000	10,000
ケースA、 MW	1,989	1,958	1,928	1,868	1,722
ケースB、 MW	2,083	2,059	2,035	1,987	1,870
ケースC、 MW	2,598	2,568	2,538	2,478	2,333
ケースD、 MW	2,598	2,568	2,538	2,478	2,333

CCGT発電コスト、セント/kWh

距離, NM	ケースA	ケースB	ケースC	ケースD
1,000	30.7	26.1	41.3	29.8
2,000	31.4	26.6	41.9	30.4
3,000	32.2	27.1	42.6	30.9
5,000	33.6	28.2	44.0	32.0
10,000	37.7	31.3	47.8	35.0

3,000NMでの発電コスト比較



注：ケースA～DはT&Dコスト0.05ドル/kWhを含む。

世界の風力発電ポテンシャル

- ArcherとJacobson(4)は、世界の風力発電ポテンシャルの20%は、年間123PWh(1.23×10^{17} Wh)の電力を供給できると推定している（年間平均14TWの発電量に相当）。

<http://nrs.harvard.edu/urn-3:HUL.InstRepos:5029362>

発電所およびガソリン／ディーゼルエンジンからのCO2排出量

- 地球温暖化を止めるには、大気中の19Gt/y (Sht.5) をゼロにする必要がある。
- 石炭火力発電所からのCO2排出量は、世界のCO2排出量35Gt/yの31%に相当する(資料5) <https://www.planete-energies.com/en/medias/close/electricity-generation-and-related-co2-emissions> 石炭火力発電所からのCO2排出量は11Gt/yとなる。
- 石炭火力発電所を再生可能なLNGで置き換えるには(本研究)約625システム(*)が必要となる。
- これにより、大気中の年間1,900万トン (Sht.5) を年間8,000万トンに減らすことができる。
- 残りの8Gt/yは、化石天然ガスによる発電から排出されるCO2をグリーンLNGに置き換え(400システム)、ガソリン／ディーゼルエンジンから排出されるCO2をEVに置き換える(2500システム)。これらにより、2900システム(*)が必要となる。
- 注(*) 1システムとは、スライド6が15GWの風力発電から始まることを意味する。

結びの言葉

- 電力コストは1kWhあたり約30～40セントで、現在の化石燃料による電力コストと比較すると若干高い。
- この計画は、風力タービンによるCO2排出を削減する究極のソリューションとなるだろう。
- 大規模な風力発電所が必要になる。環境影響評価（EIA）と持続可能な開発目標（SDGs）を実施し、目指すべきである。
- 電力消費者の負担が増える
- 風力タービン、PEM、CCGT+CCS、LIB、DACなど、システム構成要素に何らかの技術的ブレークスルーがあれば、コストはある程度下がるかもしれない。
- 再生可能エネルギーを輸送するために、パイプライン輸送は将来的に短距離で研究される。
- システムアイデアの詳細は特許準備中

ご清聴
有り難うございます