

第41回再生可能エネルギー経済学講座研究会

再生可能資源国家・アイスランドの緑化熱電戦略と応戦(その1)
-地熱・水力を中心にしたエネルギー政策等について-

2016年6月14日(火)16:00～

京都大学法経東館8階リフレッシュルーム

特任教授、学術博士(地球環境科学) 加藤 修一

京都大学大学院経済学研究科再生可能エネルギー経済学講座

本稿は研究会での発表・議論(1600-1830)を踏まえて整理したものである

再生可能資源国家・アイスランドの緑化熱電戦略と応戦(その1)

-地熱・水力を中心にしたエネルギー政策等について-

1. 再生可能資源国家・アイスランドの概要
2. 再生可能資源国家・アイスランドとEU電力指令
3. 再生可能資源:地熱の熱電開発と関係政策
4. 再生可能資源:高地の氷河資源と国内52ヶ所の水力発電
5. 緑化熱電と大量消費:電力多消費産業の存在
6. 緑化熱電と低炭素社会
7. 緑化熱電と種々の汚染物質
8. 狭隘な電力市場と電力系統網
9. アイスランドの再生可能資源と未来可能性
- 10.まとめ

《 標題についての少しの議論 》

表題:「再生可能資源国家・アイスランドの緑化熱電戦略と応戦」

■再生可能資源国家

–“再生可能資源国家“は必ずしも従来から議論されて定着している専門用語ではない。従来の用語としては、後半の資源国家である。国内の資源レントに依存し、その過程で「資源の呪い,resource curse」、「貧困の罠,poverty trap」に陥る等のレンティア国家 (rentier state) が議論されてきた。再生可能資源は、体系的な開発手順を持つ伝統的な資源と異なり、資源の呪いの議論はない。再生可能資源の開発揺籃期から発展途上、急速導入の段階に到達し始めている。再生可能資源の揺籃期は、バリューチェーンもサプライチェーンも確立していない、手探り状態であった。今日、再生可能エネルギーに関してLCOE、grid parity、スマートグリッドなどの議論が盛んであり、再生可能資源国家は、これからの議論の対象にすること、更には再生可能資源の及ぼす社会変容など、広い意味での”配当”についての議論も必要となろう。

■緑化熱電

–緑化熱電は、再生可能資源由来の熱・電力である。CO2フリーであり、伝統的資源に代替すべきものである。特に熱を含めた総合効率に着目し、熱電併給、特に地熱開発は、熱のカスケード的利用(エネルギー効率、省エネルギーの視点)の展開が、今後においても導入・普及拡大が望まれる。その意味でも2012年のリオ+20国際会議などの意義を踏まえたグリーン経済の意義は十分あり、アイスランドが提唱する「モデル社会」の意義がある。更に着実な展開のためには、開発拡大における環境汚染を最大限避け、環境コストの内部化を進め、適正な電力価格の提供に至ることは、重要な論点である。このような緑化熱電には、再生可能から持続可能なエネルギーへの展開を目指す責務がある。

■応戦 “挑戦と応戦”

–歴史学者アーノルド・トインビーの「歴史の研究」の第13章の表題は、challenge-and-response(挑戦と応戦)である。キリスト教的には、神が挑戦を人類に与え、それに応戦する人類の図式ではあるが、博士は、文明は、外部の自然・人間環境と創造的な指導者の二つの条件によって発生すると指摘した。気候変動にタックルする人類の姿は、その応戦に相当することかもしれない。またアイスランド再生可能資源の開発史は、ささやかな応戦かもしれないが、気候変動を乗り越え、ゼロ炭素社会という新しい文明への足掛かりに触れることになるものなのか。少なくとも三つの離脱を成し遂げつつある応戦史を刻む国として、あたらしい文明の端緒に触れる芽を見出し育むことをアイスランドの指導者に期待したい。それは、再生可能資源のフロントランナーであるアイスランドが、提唱する「モデル社会」、「アイスランド2020」などの今後の具体的な応戦にもかかっている。

1. 再生可能資源国家・アイスランドの概要

図表 アイスランドの主要指標と世界順位

各種の指標	アイスランド	(日本)
01.インターネット普及率(2013)	1位	16位
02.男女平等度(2013)	1位、7年間	104位
03.世界平和度指数(2014)	1位	8位
04.平均寿命(2012)(才)	4位(82.92)	2位(83.10)
05.世界人材競争力指数(2013):ビジネススクールの INSEAD	10位	21位
06.人的資本指数(2013)	14位	15位
07.観光競争力(2013)	16位	14位
08.一人当たり名目 GDP(US\$)(2013)	16位	24位
09 国際競争力 IMD(2014):企業にとってのビジネス環境	25位	21位
10.国際競争力 WEF(2014):国家の生産レベル	30位	6位
11.一人当たり CO2 排出量(2010)(t/年)	53位(6.17t)	27(9.19t)

出典:「世界のランキング」、世界経済のネタ帳(2015)等より抜粋、筆者加筆・作表。

■首相府—「Iceland 2020」を発表。

ダイナミックな社会を目指して持続可能性等の視点から15の数値的目標。
例えば5トン以下の新車は2020年までに再エネ利用75%等。

■国会—「アイスランドの持続可能な繁栄」と三つの柱

- ①クリーンな自然環境、
- ②持続可能なエネルギーの使用、
- ③持続可能な教育の3本柱。

- 1) 輸入エネルギーを再エネに転換すること
- 2) アイスランドのエネルギーは、社会や公共のためになる持続可能性を確保すること
- 3) 地熱や水力資源は、予防的かつ保護的アプローチに基づいて開発すること
- 4) エネルギー戦略は、分散型、エコロジカルで有益なハイテク産業の開発を目指し強化すること
- 5) エネルギー戦略は、持続可能な利用を優先し、地熱地域の酷使を避けること
- 6) より良いエネルギー利用を推進するために、持続可能な地熱蒸気を使用して、インダストリアル・パーク等、園芸ハウス、リサイクル等を開発すること
- 7) ヨーロッパとアイスランドとのエネルギー国際連系線は十分精緻な研究を進めること

2. 再生可能資源国家・アイスランドとEU電力指令との関係

■再生可能資源国家・アイスランドとは……

-EU非加盟国

-EFTA(European Free Trade Association、欧州自由貿易連合)、アイスランド、ノルウェー、リヒテンシュタイン、スイス

-EEA(欧州経済地域): 欧州自由貿易連合(EFTA)加盟国が、欧州連合(EU)に加盟することなく、EUの単一市場に参加できる枠組み。

-(EEA協定第128条—EUに新規加盟する国はEEAにも加盟しなければならない)EUの立法には関わらないが、原則的にEUの法規制を受ける。31ヶ国参加。

■EU電力指令などの動きとアイスランドの再生可能エネルギー政策(→概要の図表)

-孤立系統網

-年間発電量約170億kwhとヨーロッパ第10位、大規模な再エネ潜在量

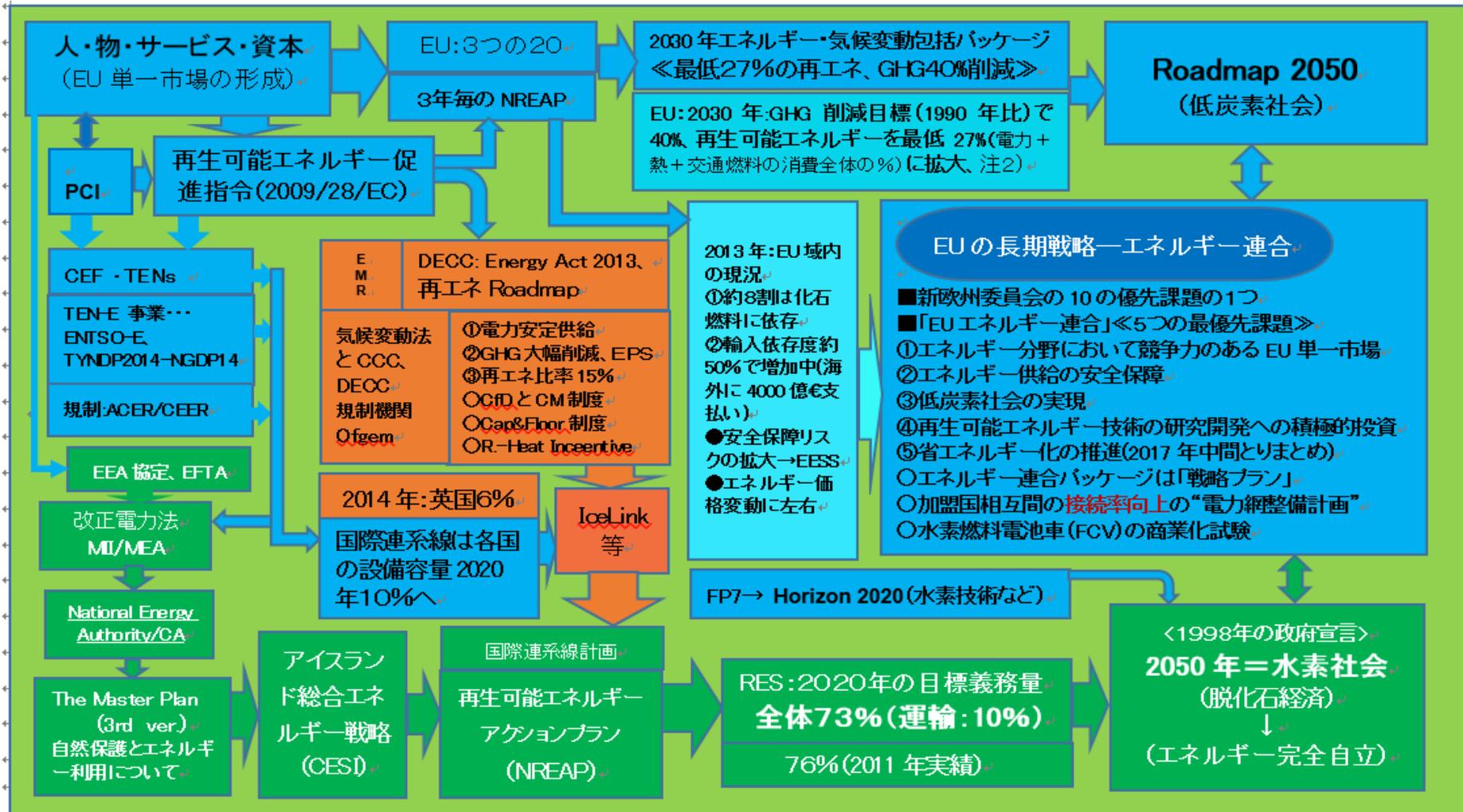
■EU指令～EEA～アイスランドとアイスランド政策 (→図表) 政策の意思決定過程

-EU指令のアイスランドのエネルギー政策への決まり方

-1996第一次EU電力指令、2003: 第二次EU電力指令 ヨーロッパの諸国間の単一電力市場の成立

-EU指令が直接的でなく、EEAを経てDown -loading

EU エネルギー指令などの動きとアイスランドの再生可能エネルギー政策(概要)

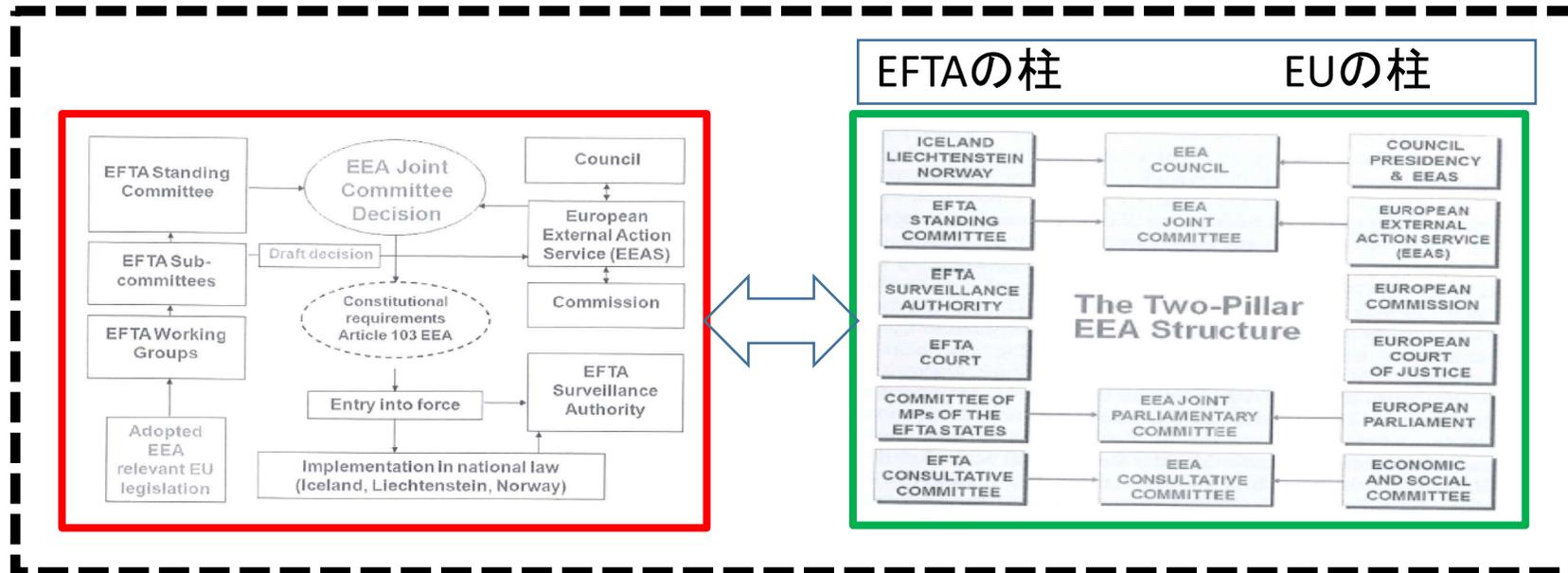
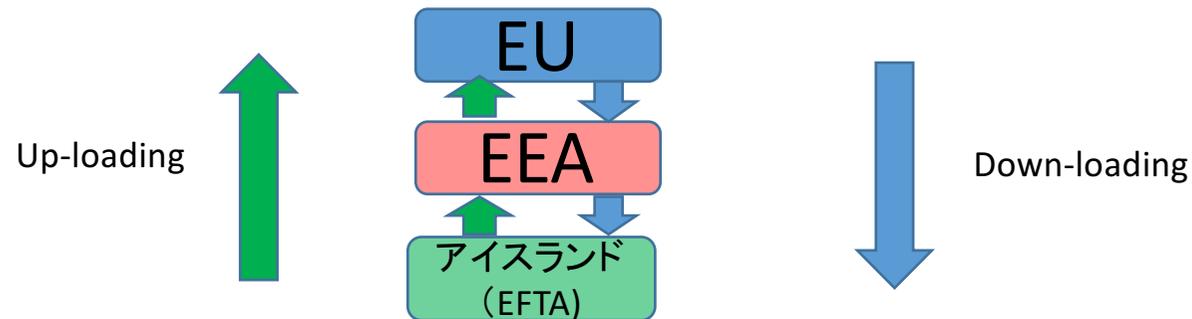


注1) 配色は、緑(アイスランド)、青(EU)、橙(英国)。PCI: Project of Common Interest, CEF: Connecting Europe Facility, RES: Renewable Energy Resource, ENTSO-E: European Network of Transmission System Operators for Electricity(送電会社団体:欧州電力系統運用者ネットワーク)、TYNDP2014: Ten-Year Network Development Plan 20, TENs: Trans-European Energy Networks, NGDP14FP7: the 7th Framework Programme, TEN-E: Trans-European energy infrastructure, ACER: Agency for the Cooperation of Energy Regulators(?), CEER: Council of European Energy Regulators (エネルギー規制機関協会)、EMR(電力市場改革)、DECC: Department of Energy and Climate Change(エネルギー気候変動省)、EPS: Emissions Performance Standard(二酸化炭素排出基準)、Ofgem: Office of Gas & Electricity Market(ガス電力市場規制庁)、CCC: Committee on Climate Change(気候変動委員会)、NREAP: National Renewable Energy Action Plan(国家再生可能エネルギー行動計画)、CA: Competition Authority(競争庁)、EFTA(欧州自由貿易連合)、EESS: European Energy Security Strategy.
 注2) 電力独自の目標値はないがEUのHPのQ&Aは再生可能電力単独で「最低45%」を掲載。
 出典: EU及びアイスランド政府関係資料より、著者作成(2015)。

EU指令～EAA協定～アイスランド政策(1)

■ EEAの意思決定過程と、EEAの二本柱構造 → EEA協定

EEAは、EU+EFTA(アイスランドなど計4ヶ国)の31ヶ国共同市場



EU指令～EEA協定～アイスランド政策(2)

■小規模孤立系統の例外規定の攻防

- ・1992 ECが電力指令案を提案
- ・1996 EU指令(案)の「第三章発電」に「小規模孤立系統地域」の除外規定の挿入要請
- ・EU指令(案)のEEA協定化。EU指令(案)に問題が多い場合は除外規定で対応
- ・1999 EEA協定にEU指令(案)は組み込まれ、2000年にEEA協定が発効。
- ・2年間猶予国、除外規定がEEA協定の対象となる。

	小規模孤立系統の定義		
EU指令 「第三章」の発電部分	small isorated system 第1次電力改革 96/92/EC	small isorated system 第2次電力改革 2003/54/EC	Micro-isorated system 第3次電力改革 2009/72/EC
電力消費量(KWh),1966	2500GWh(30億KWh) 未満	3000KWh(30億KWh) 未満	500GWH(5億KWh) 未満
他の連携線の接続	5%未満	5%未満	接続なし
対象国	ルクセンブルグ、ギリシャ・スペインのロードス島、カナリアなどの島	マルタ、キプロス、	マルタ以外のNIIの島

注1) NIIs: All Greek Non-Interconnected Islands

注2) 現在、情報交換などのために自発的な組織TSOsとしては、entsoeの指導の下にVRGISが存在する

注3) アイスランドは、51億KWh(1966)のため除外。 G:10億、 GWh:百万kw

●VRGISの存在: Voluntary Regional Group Isolated Systems —4ヶ国メンバー

EU指令～EEA協定～アイスランド政策(3)

■第2次EU指令とアイスランド電力法の改正

—2005年、第2次EU指令(2003/54/EC)がEEA協定に ➡ アイスランド電力法の改正(2004,2008)
電力法65/2003

—アイスランドは、「アイスランド電力法」に国富の強化。

第一条の目的

- 1) 電力供給義務、公益性等の制約の中で発電と電力取引の競争環境の保障
- 2) 電力の送電・配電の有効性、効率性の促進。
- 3) エネルギー供給システムのセキュリティと消費者保護の保障
- 4) 再生可能エネルギーの使用と他の環境基準の監査促進

—第二次指令:事業分離。**1万世帯以上をカバーするDSOの法的分離要求**
(EU指令のDSO要件は、10万世帯未満)

—2005年:Landsnet (TOS)が事業開始。

—2006年:電力完全自由化

—**インフラなど費用増大にもかかわらず、電力料金は、他の国と比較して安価。**

—EU指令とのミスマッチ:EU指令は、広大な電力網、特に国境を超える電力網と電力取引であり、小規模、孤立電力網に不適だが、良好に対応。

—アイスランドは、EU指令(案)に例外規定の権利を得た。

第一次エネルギー自給率が 16.4%から 85.4%(全て再エネ)に大転換。

年	ピーク	水力	地熱	(ピ+水+地)	石油	石炭	(石油+石炭)	合計
2011	0.0	45.0(19.1)	156.1(66.3)	201.1(85.4)	30.5(12.9)	4.0(-1.7)	34.5(14.6)輸入	235.6
2010	0.0	45.3(19.4)	155.2(66.3)	200.5(85.6)	29.6(12.6)	4.0(-1.7)	33.6(14.3)	234.1
2000	0.0	22.9(17.9)	73.9(57.6)	96.8(75.5)	27.4(21.4)	4.0(-3.1)	31.4(24.5)	128.2
1990	0.0	15.0(17.6)	44.2(51.8)	59.2(69.4)	23.4(27.4)	2.7(-3.2)	26.1(30.6)	□85.3
1980	0.0	11.0(19.7)	26.7(46.5)	37.7(65.7)	18.8(32.8)	0.9(-1.6)	19.7(34.4)	□57.4
1970	0.0	5.1(15.3)	11.4(34.1)	16.5(49.4)	16.8(50.3)	0.1(-0.3)	16.9(50.6)	□33.4
1960	0.0	1.9(-9.7)	4.4(22.4)	6.3(32.1)	12.6(64.3)	0.7(-3.6)	13.3(67.9)	□19.6
1950	0.0	0.6(-4.9)	3.0(24.4)	3.6(29.3)	6.1(49.6)	2.6(21.1)	8.7(70.7)	□12.3
1940	0.2(3.6)	0.2(-3.6)	0.5(-9.1)	0.9(16.4)	0.8(14.5)	3.8(69.1)	4.6(83.6)	5.5

100%が再生可能資源由来の電力□□□□□□□□□□(2014年実績)

	設備容量 万 kw (%)	発電量 億 kwh (%)	消費電力構成率	備考
水力	198.6 万 kw (72.0)	128.73 億 kwh (71.0)	77%	火力発電は極小
地熱	66.5 万 kw (24.1)	52.39 億 kwh (28.9)	17%	
風力	0.3 万 kw (-0.1)	0.08 億 kwh (0.08)		
化石燃料	10.6 万 kw (3.8)	0.02 億 kwh (0.02)	計 5%	
合計	276.0 万 kw (100)	181.00 億 kwh (100)	99%	1%:不明

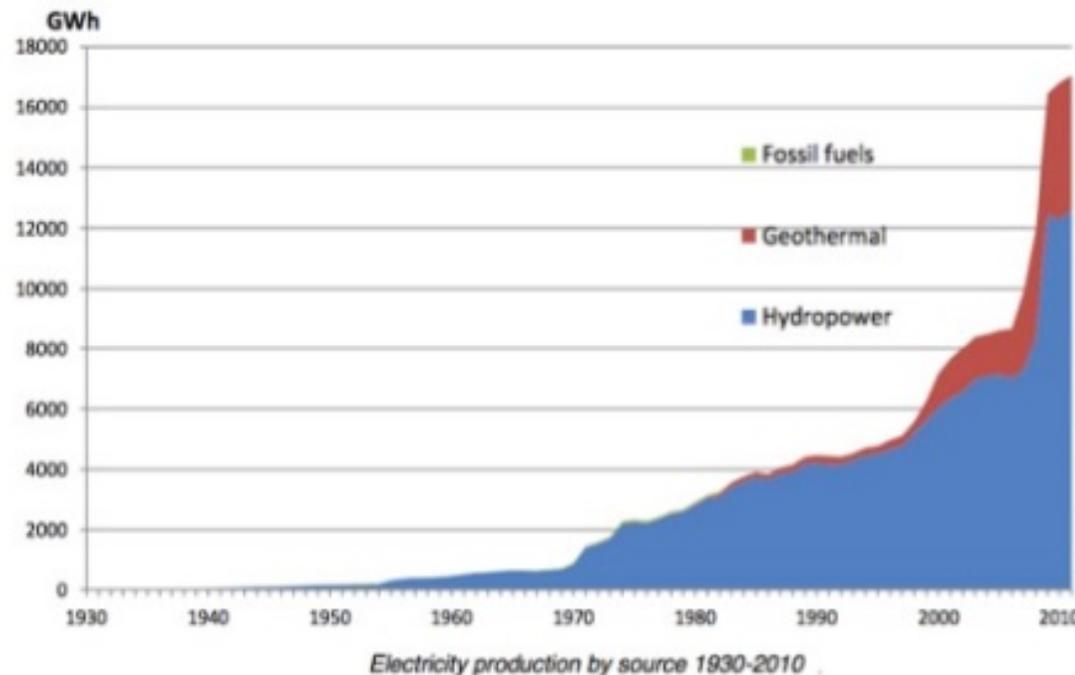
注)風力発電は国営電力会社の実証事業。

資料: The Icelandic National Energy Authority (NEA)、ENERGY STATISTICS IN ICELAND 資料より著者作成

CURRENT **ELECTRICITY** GENERATION

Total installed power capacity is close to 2,700 MW.

Total annual generation is close to 17,000 GWh (17 TWh).



Capacity today:

Hydro	1,884 MW
Geothermal	665 MW
Fossil fuels	120 MW
Total	2,669 MW

Annual production:

Hydro	12,507 GWh
Geothermal	4,701 GWh
Fossil fuels	2 GWh
Total	17,210 GWh

Source: NEA

© Askja Energy Partners 2012

3. 再生可能資源：地熱の熱電開発と関係政策

Blue Lagoon, swimmers basking in a lagoon of warm water: 地熱利用のスパ



- ・ブルーラグーンは、アイスランドの南西部、ネキャネース半島、首都レイキャヴィークの南西約40km。自然温泉ではなく、隣接の**スヴァルスエインギ**(“黒い牧草地”) **地熱発電所**が地下2000m、240度地熱の副産物。
- ・地下熱水の温排水の貯留・再利用、世界最大の露天温泉、総面積約5000m²。
- ・排水温度70°C → 38°C前後に調整
- ・ヒーリング効果が知られて以降、1981年から使い始め、1992年ブルーラグーン社操業開始
- ・「驚異の世界25」の一つ
- ・豊富なミネラルを含む-スキンケア製品
- ・シリカ分が多い、乳白色の温水。

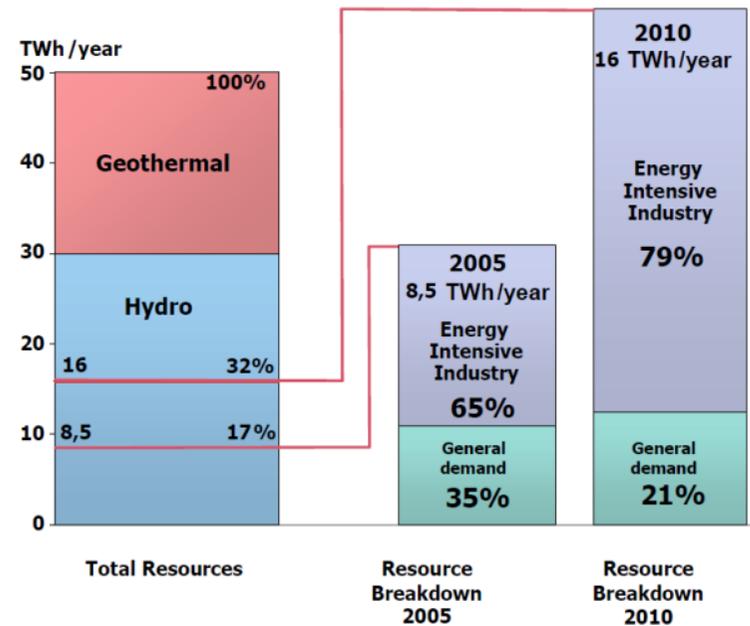
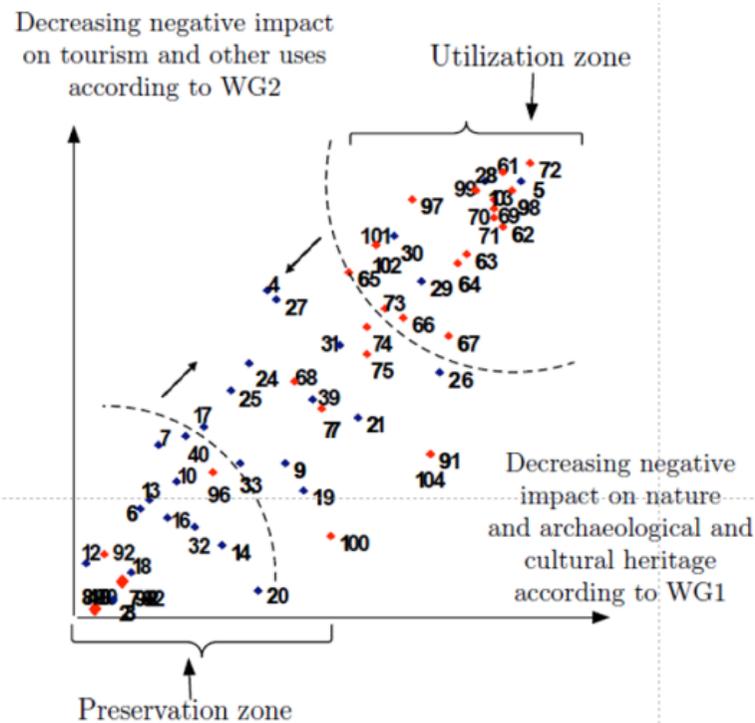
”スヴァルスエインギ地熱発電所”

- ・HS Orka社(私企業所有)
- ・1976年創業、2007年現在、7.65万kw(電力)
- ・90°C、475リットル/s、温水(8万kw相当)
- ・暖房等温水→パイプで首都へ供給、GeoDHシステムの普及(現在、全国98%)
- ・ケフラビーク国際空港から15分

第3次水力・地熱発電マスタープラン(MPHGER)

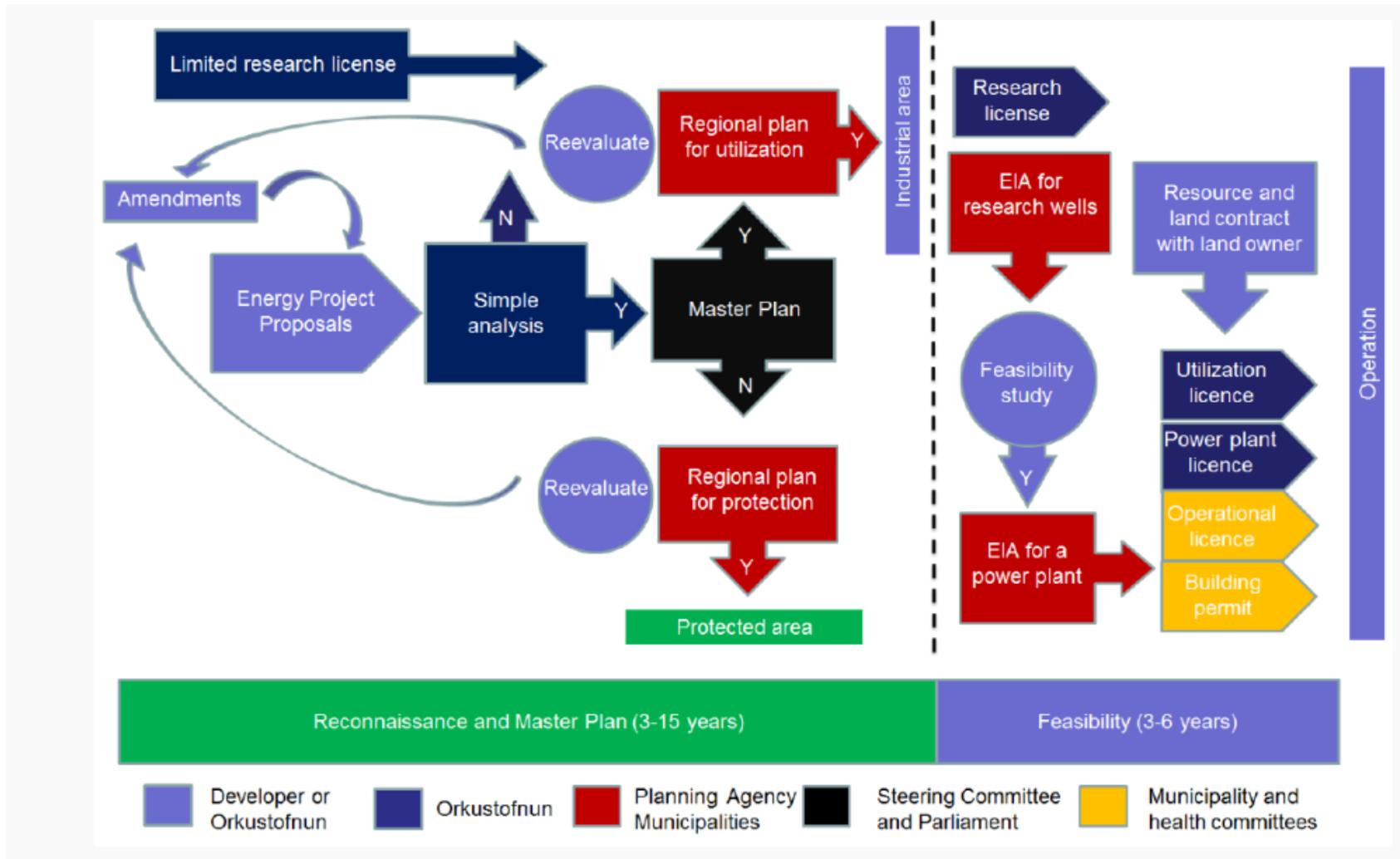
アイスランドのMPHGER		大規模水力発電	地熱発電	風力発電	備考
第1フェーズ(1999~2003)		20箇所(高地地域)	8箇所(高温地域)	—	
第2フェーズ (2004~ 2010)	2004~2007精査と情報収集	<ul style="list-style-type: none"> ・30~40の主要な箇所 ... 66(内38地熱) ・開発(56%)、保留(19)、保護(25)一カテゴリー化 ・環境、自然、野生生物、景観、文化財、古代遺跡、伝統的土地利用、野外活動、漁業、狩りなどへの精査と配慮 	—		<ul style="list-style-type: none"> ・4WG設置 ・開発済 20~25%
	2008~2009新運営委員会、再評価等				
第3フェーズ (2013~17)	<ul style="list-style-type: none"> ・運営委員会など ①科学的知見: 	運営委員会で81地点を検討中。カテゴリー化が審議中。再アセス5、開発・保護23、29未決定。	対象にする		4技術委員会の設置
※第2フェーズの精査等		<ul style="list-style-type: none"> ②事業の責任体制: ③評価過程: 			

資料:アイスランド環境省、経済・技術改革省、運営委員会等の資料より、著者作成(2015)。



Source: Egill Benedikt Hreinsson, ICELAND'S ENERGY RESOURCES AND MASTER PLAN WITH ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC CONSTRAINTS

マスタープランを巡る再生可能エネルギーの導入過程



図表 アイスランドの“緑化電力”の現在の基本数値と期待される将来の潜在発電量など。

	①設備能力 (万kw) 注1)	②発電量 (億 kwh/年) 注1)	平均設備利用 率 (%) 注2)	未開発の潜在資源量		
				潜在発電量注3)	潜在設備能力注4)→潜在発電量	
水力資源	198.6	128.63	73.94	300億kwh・年	下記数値注5)	
地熱資源	66.5	52.45	90.04	200億kwh・年	580万kw	460億kwh/年
Fuel 燃料	11.4	0.03	—	—	—	—
風力資源	(現在実証事業の風力発電所)			(現在、実証実験による測定中)。注8)		
海洋エネルギー	—	—	—	周辺は海洋と恵まれ膨大な潮汐、波力、海流発電の潜在量がある。		
合計	276.7 注6)	181.16 注7)		500億kwh・年		

注1)2013年実績、注2)①、②より筆者算出、注3)2002年調査(潜在量推計値)、注4)GEA,2015年報。注5)アイスランド政府ネット。

注6)北海道電力の半分程度、注7)北海道電力の6割程度、注8)第?章?項を参照。

出典:実績値—アイスランド国営電力発電会社資料、潜在資源量2002年値:「NEDO海外レポート」(No.1011、2007)より筆者作表。

図表一 国営電力会社の実証事業(2基の900kwタービン)による有望な風力資源 (2013年開始)

	稼働風速(ピーク効率)	平均設備利用率	稼働率	停止速度	備考
2基のタービン	15~28m/s、発電開始風速は3m/s	高率の約40%※	98%	34m/s	高さ=77m
計1800kw	※※ 年間発電量の試算=(0.09万kw×2)×24×365×0.4=630万kw				

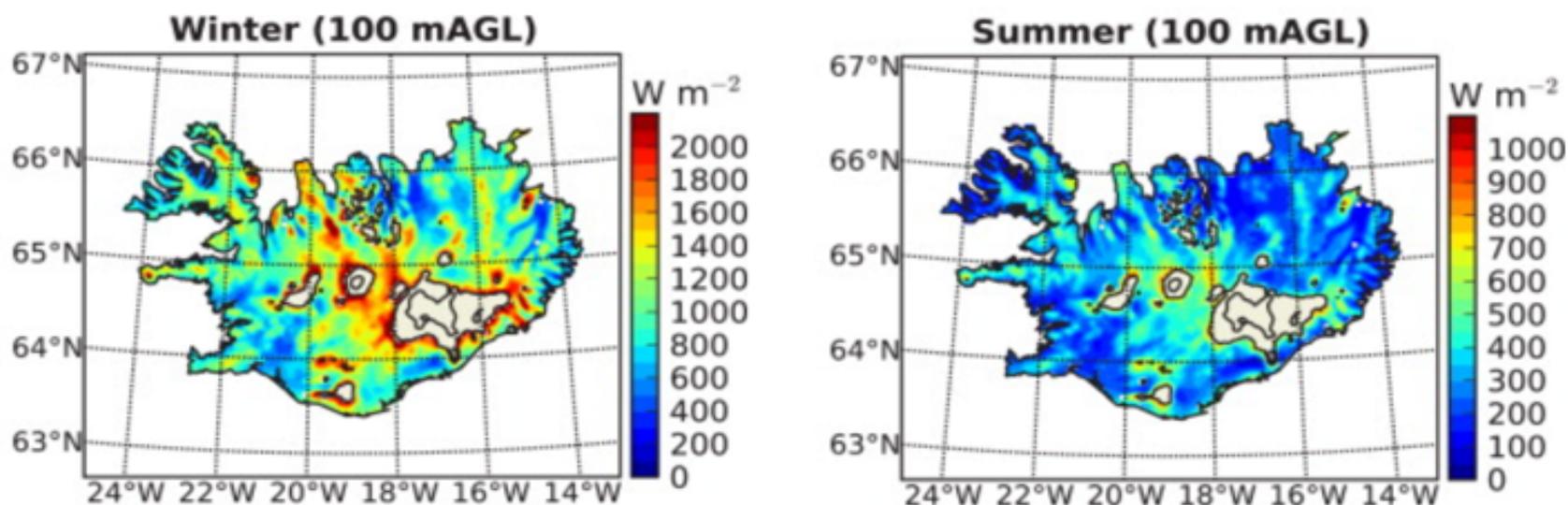
注)※国際的な平均設備利用率(capacity factor)は約28%

出典:アイスランド国営電力会社 Landsvirkjun 社資料より筆者作表。

風力の潜在量とIceland事業の展開

ノルデック研究プロジェクトIcelandは、2010年～2014年。これは、Riso研究所とデンマークが先導し、Denmark, Finland, Iceland, Norway and Swedenからの科学者、Landsvirkjun社、Icelandic Meteorological Office、University of Iceland, Icelandic TSO [Landsnet](#)社、アイスランド政府等が進め、最終的には、風力、波、着氷の精緻な予測し、洋上風力事業の効果的円滑な事業推進にある。このプロジェクトは、長期的な気象統計データに始まり、スウェーデン、アイスランドの氷化地図の作成を含み、Riso 研究所(デンマーク)は、デンマーク、フィンランド、アイスランド、ノルウェー、スウェーデンの会社や科学者、更にアイスランドLandsvirkjun社のプロジェクト担当者、アイスランド気象所、アイスランド大学、アイスランドTSO (Landsnets)社が参画したものである。

図表 修正 WRF モデルによる平均地上 100mの風力発電密度(W/m²) (アイスランド)

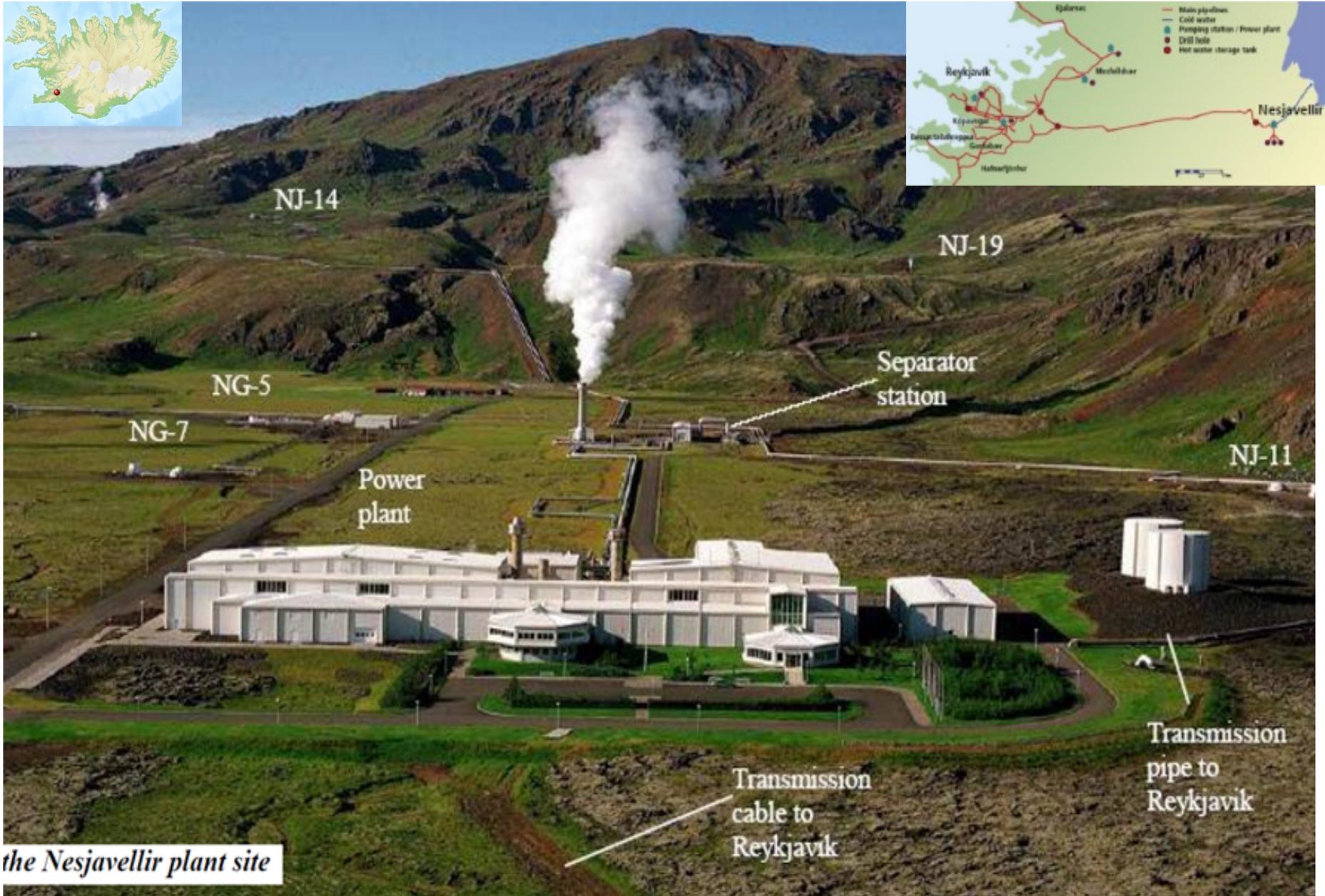


注)WRF モデル:Weather Research and Forecasting Model(気象予測モデル)

100mAGL(Above mean Ground Level):地上100m平均高度

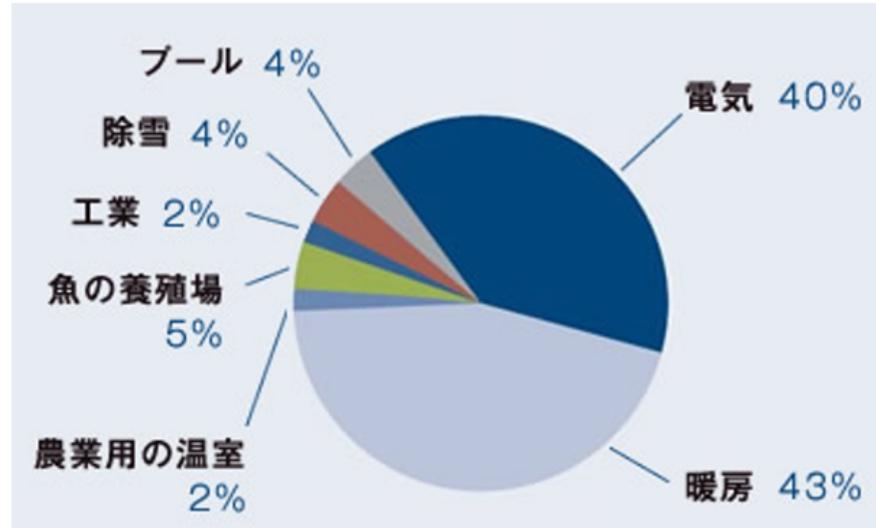
出典:(Nikolai Nawri, et la, The wind energy potential of Iceland, "Renewable Energy" Volume 69,

September 2014, Pages 290-299. Icelandic Meteorological Office(IMO)関連資料より。



地熱の直接利用

図表 発電・暖房等に使用される地熱エネルギー(2013)



注)地熱の総量は 46.7PJ。

出典: ORKUSTOFNUN(National Energy Authority), ENERGY STATISTICS IN ICELAND 2013.

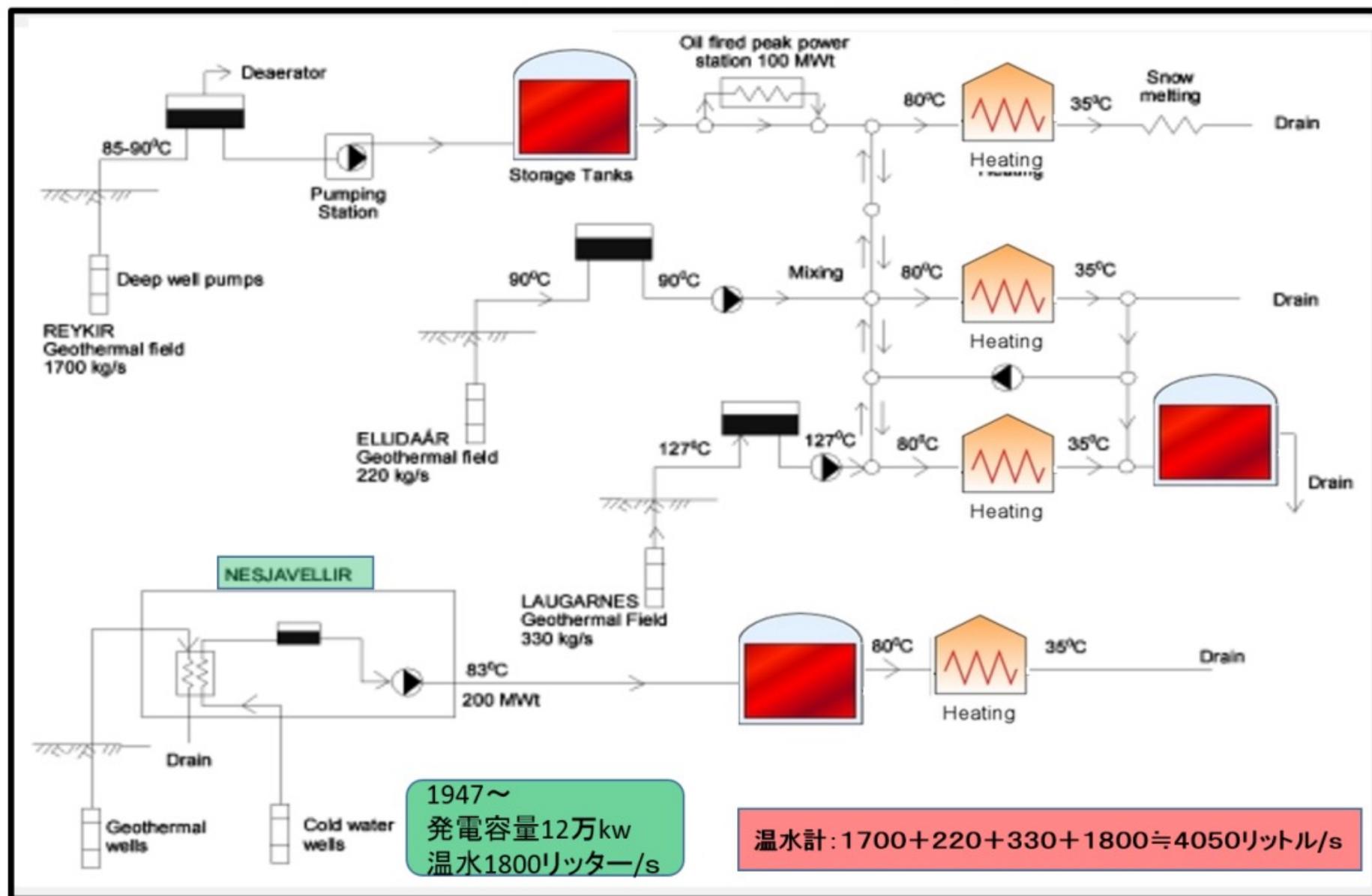


ヒートポンプは少ない

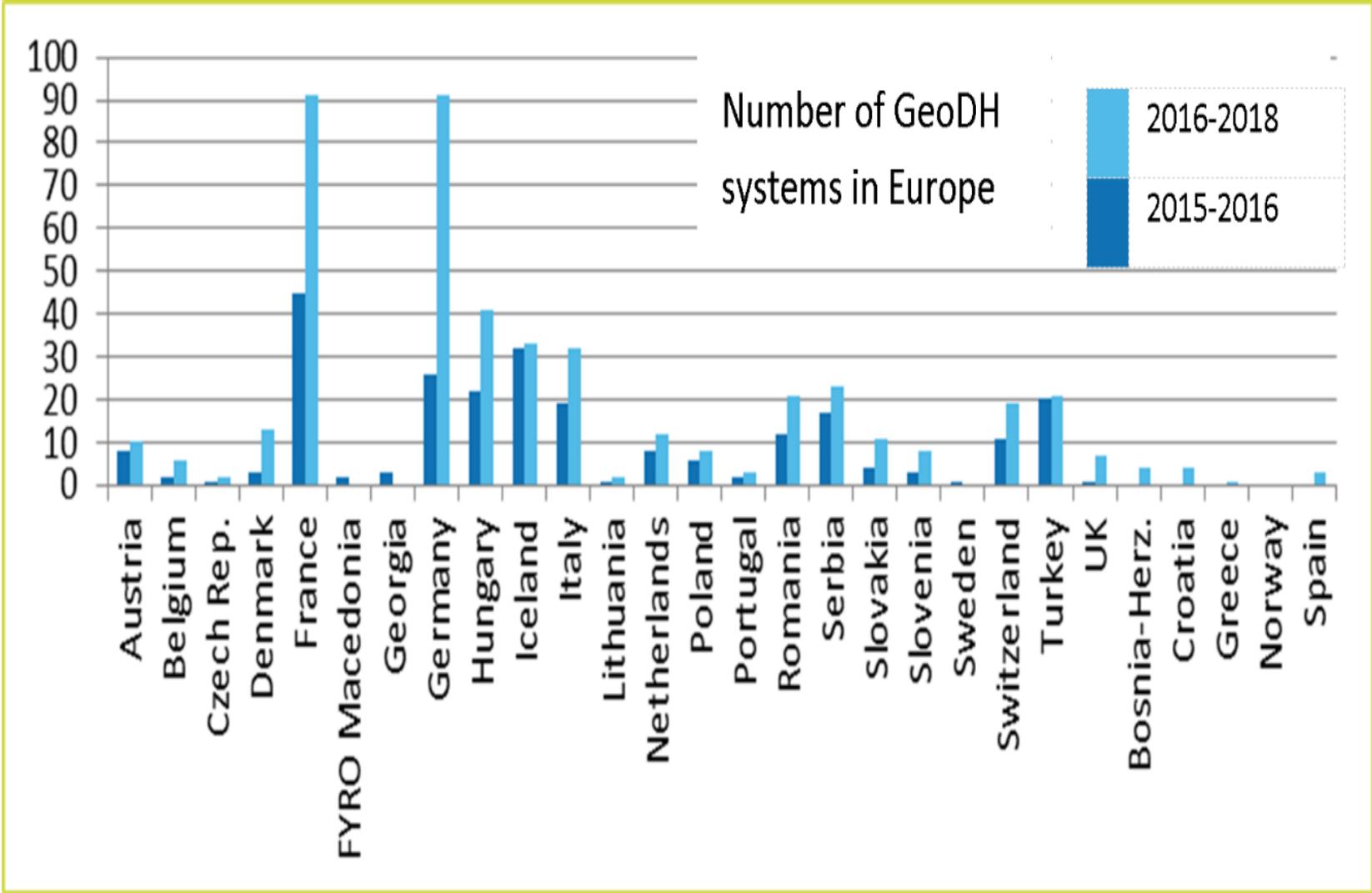


出典: National Energy Authority, ORKUSTOFNUN

4地熱施設からなる首都レイキャビークのGeoDHシステム(1930~)



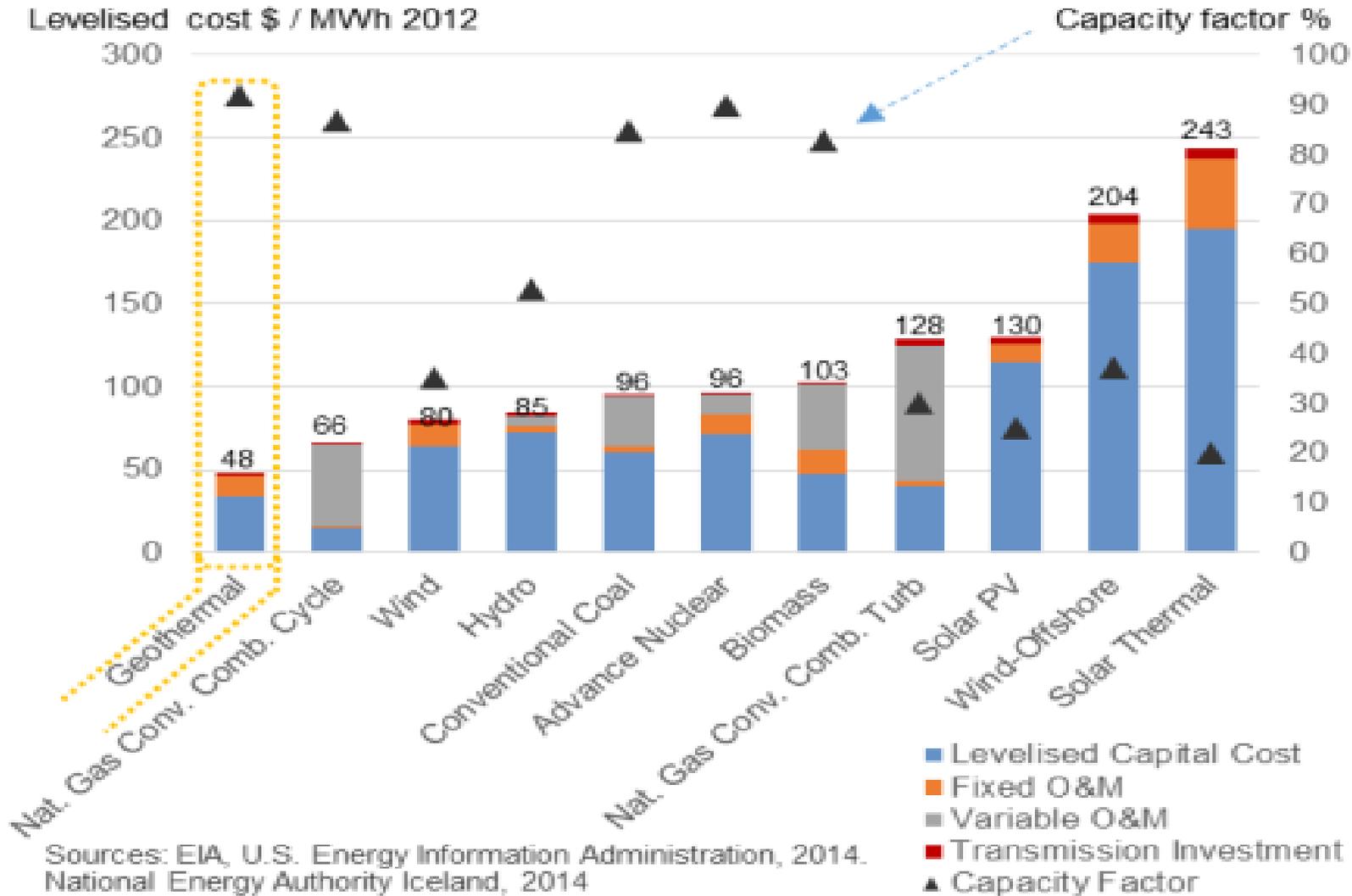
GeoDH systems in Europe



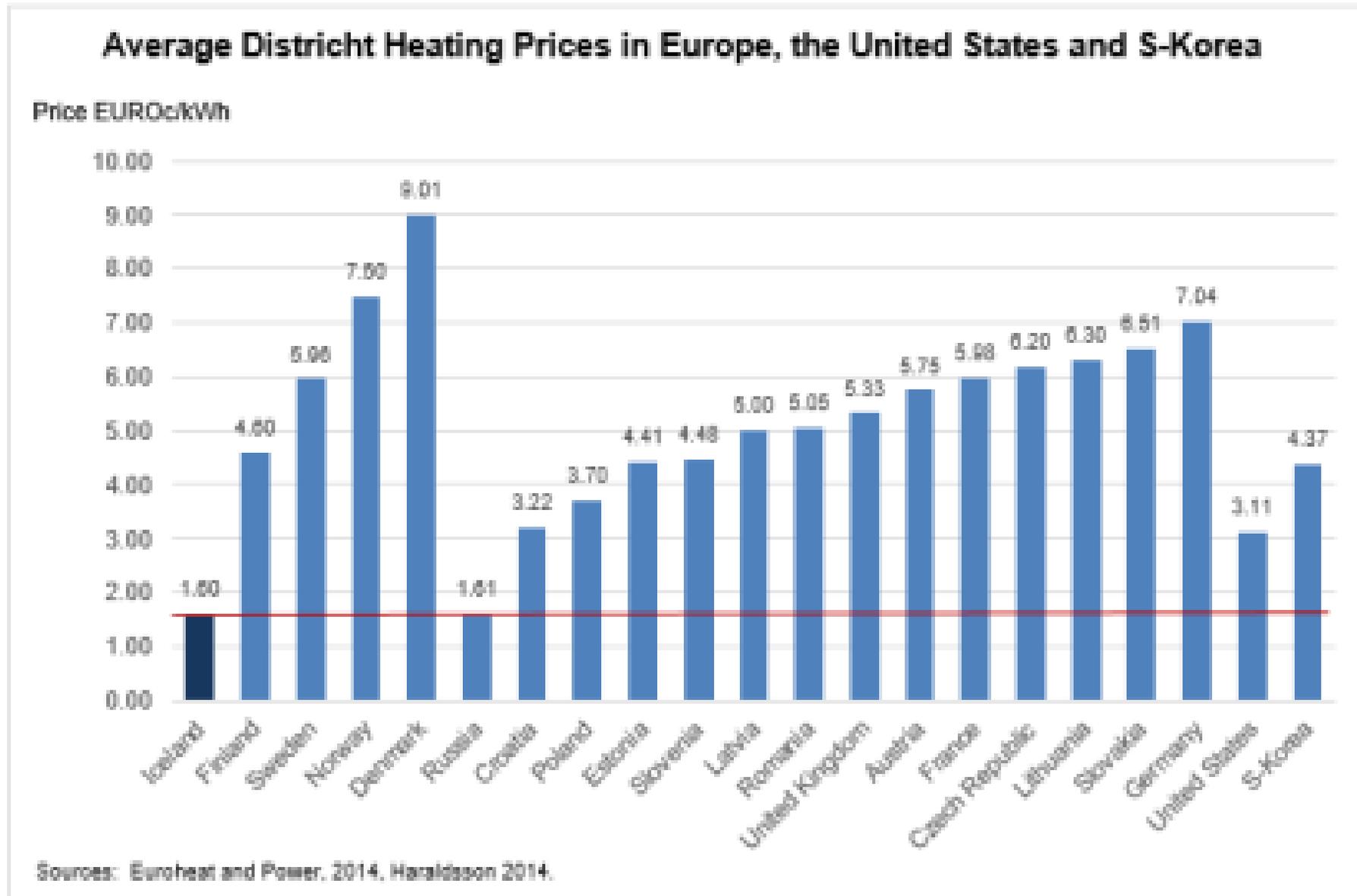
Source: EGEC Market Report 2014

発電別の平均LCOEコストと設備利用率

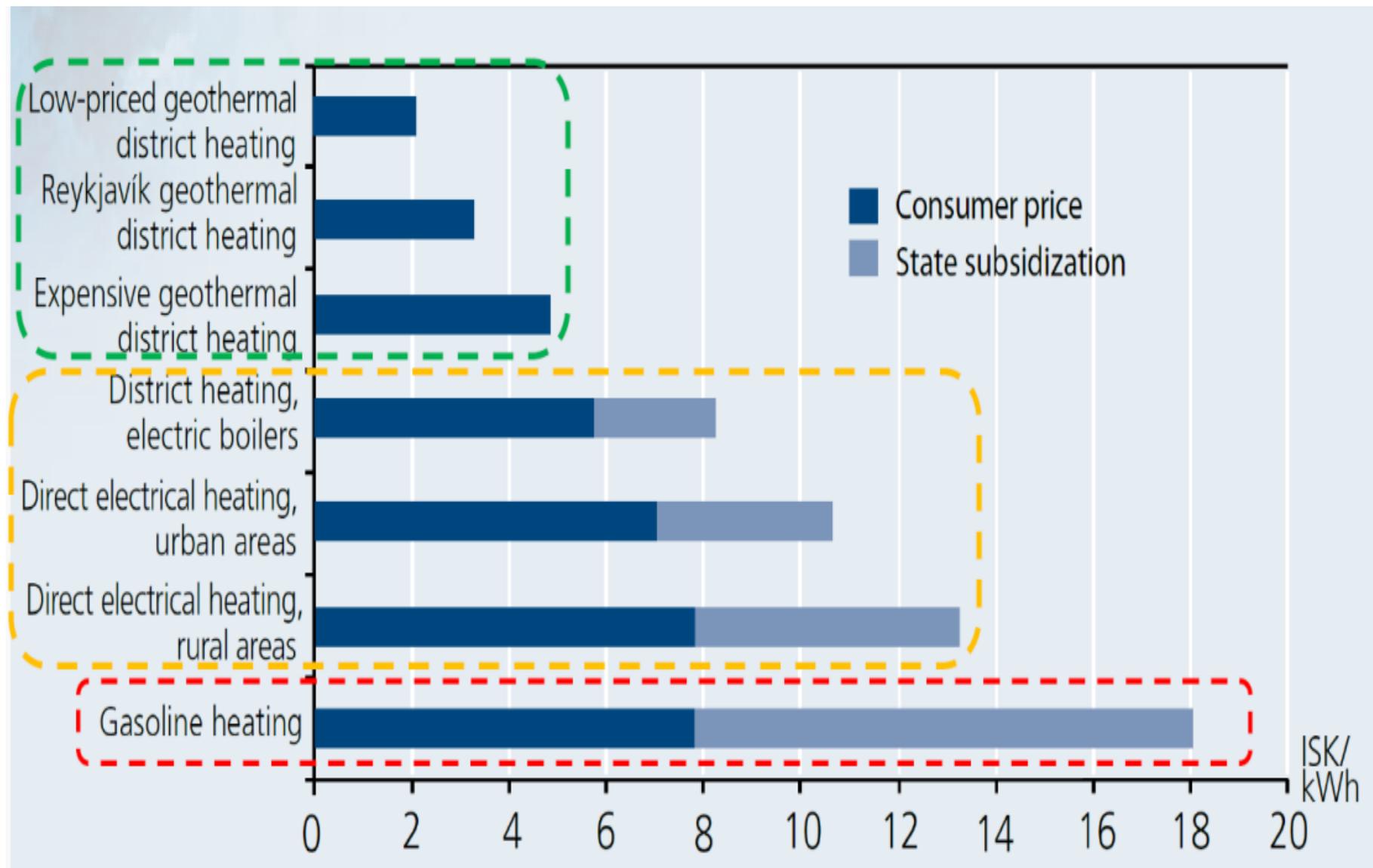
(2019年に米国内で運用開始予定の施設)



DHの平均的な価格—欧州、米国、韓国



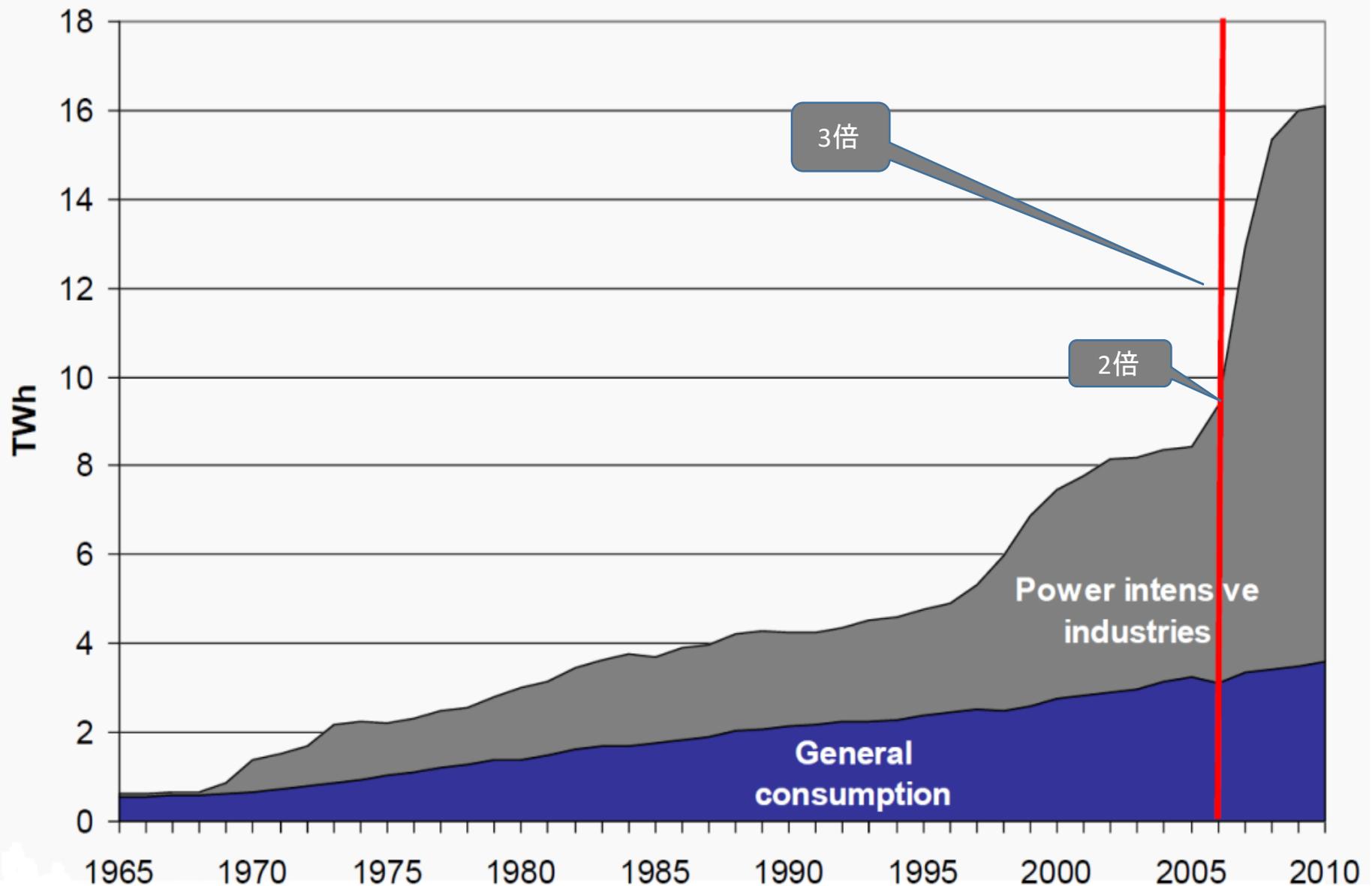
暖房価格の比較:地熱(緑)、電気(黄)、ガソリン(赤)



出典: National Energy Agency(ORUKUSTFNUN)資料等、2013年中央値

多消費産業(60億Wh,2006)は一般の2倍→3倍に急増

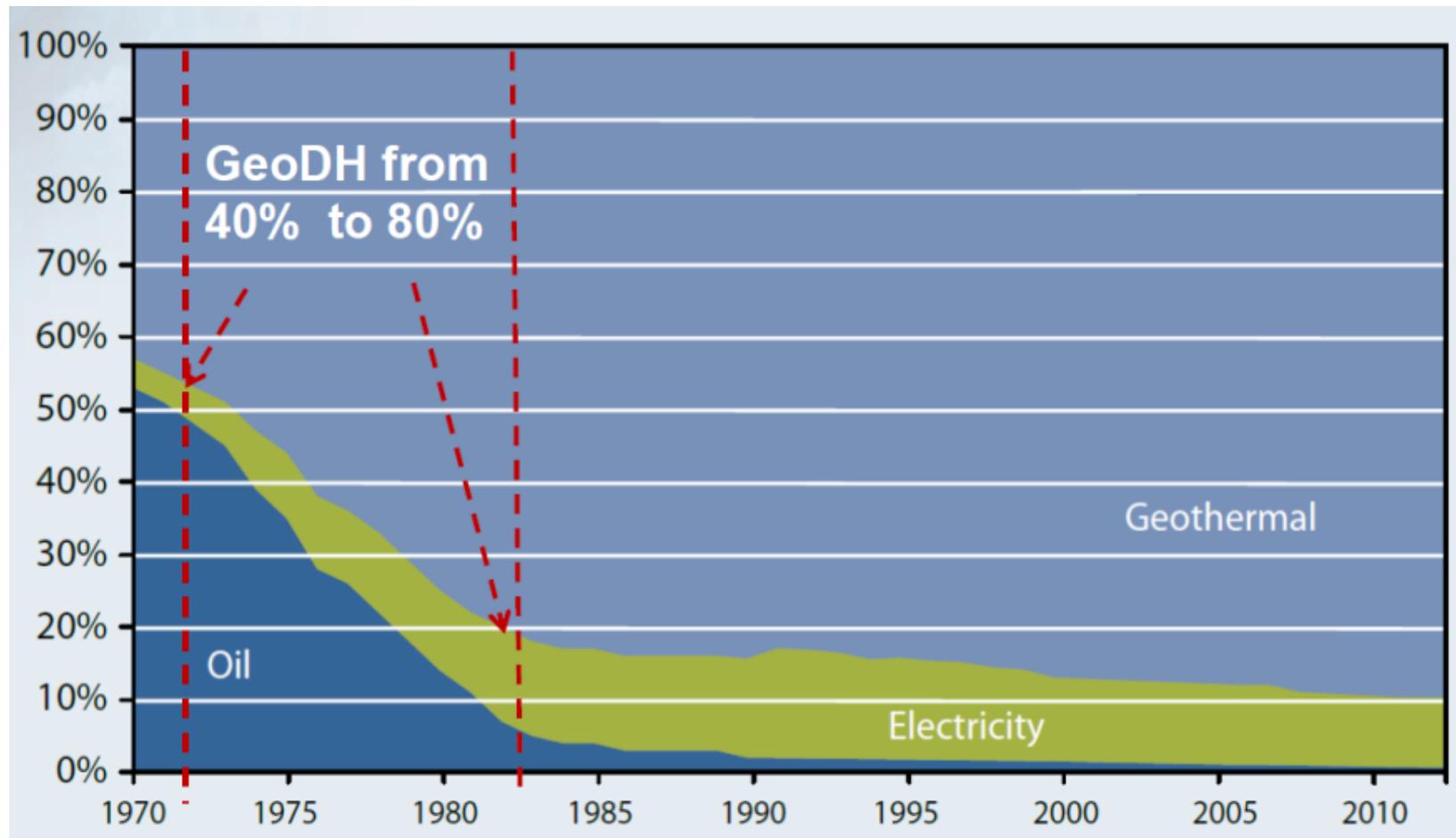
■ 電力多消費産業が緑化電力を使用するCO2削減効果は大きい



GeoDH の地域暖房の飛躍的拡大と要因

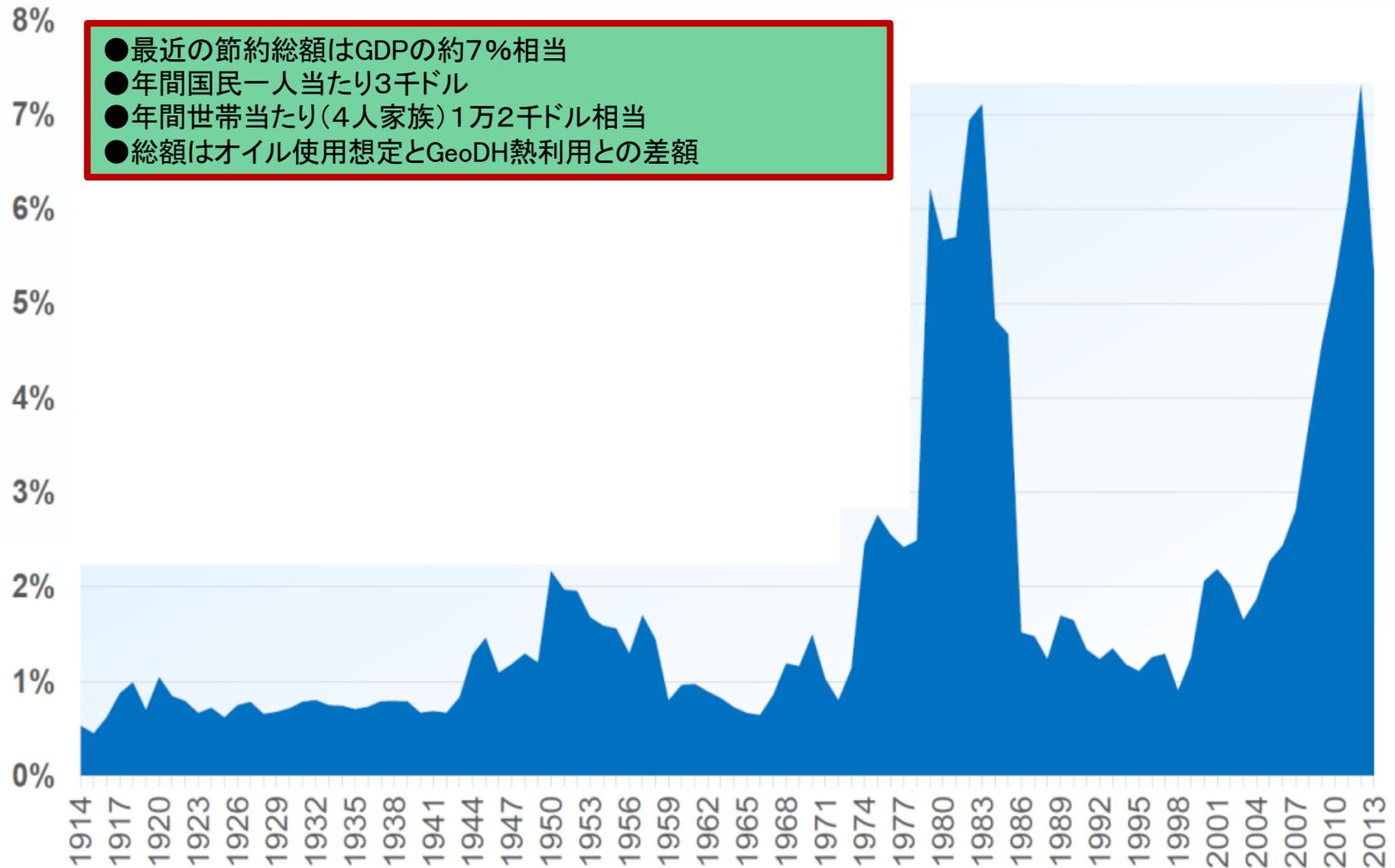
1970年代の40% から80% に拡大(約12年間)

- ①石油危機(1970 - 1982)と大戦の教訓
- ②外的条件- 評価の必要性と GeoDH 計画の策定と実施
- ③地熱拡大の政策目標一国レベルと主要な市の取り組み



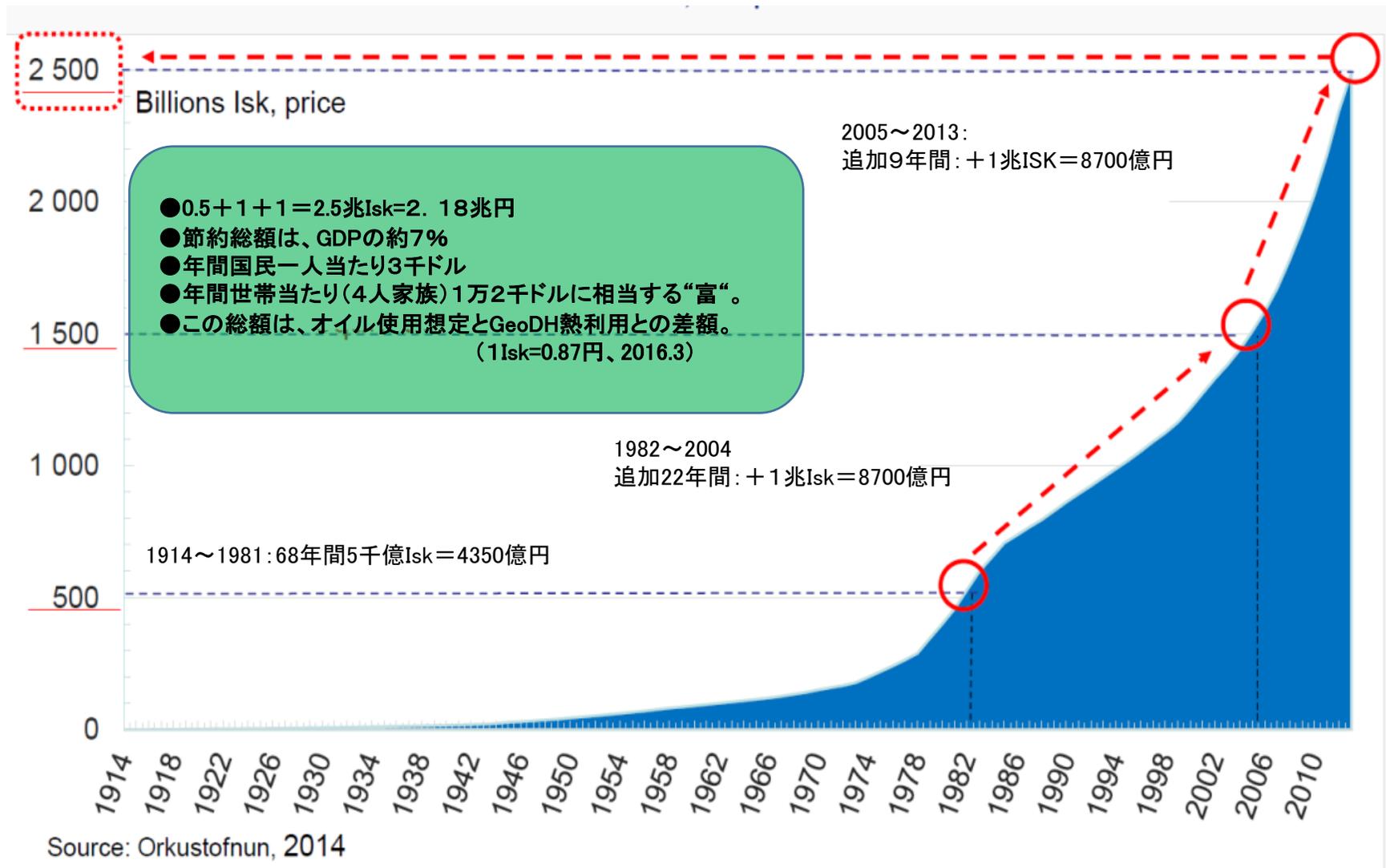
アイスランドのGeoDH導入の経済的な便益

1914-2013年間のGDPに基づいてGeoDHの導入による国全体の節約



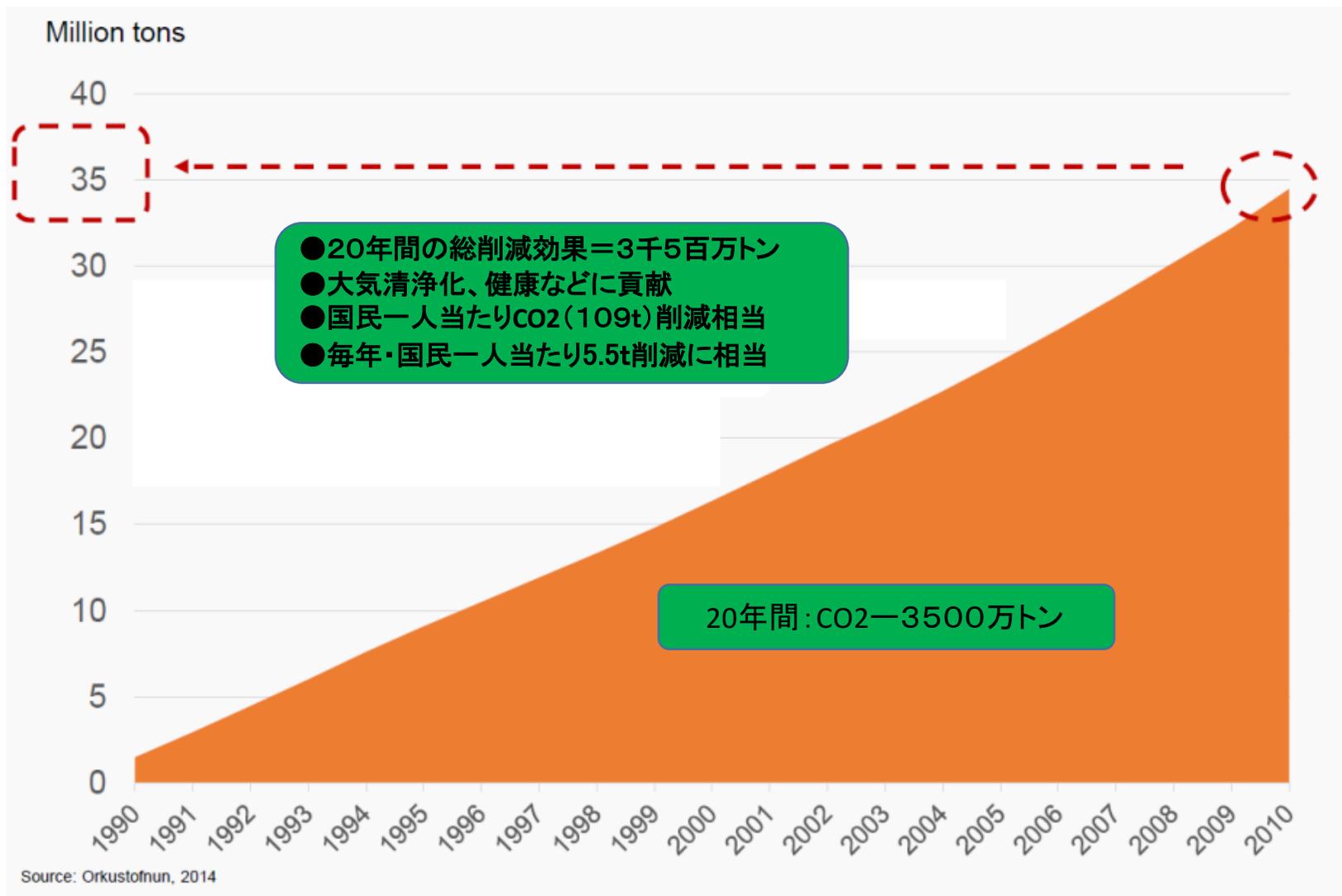
Source: Orkustofnun, 2014

1914～2013間のGeoDH導入効果(累積総額 2.18兆円)



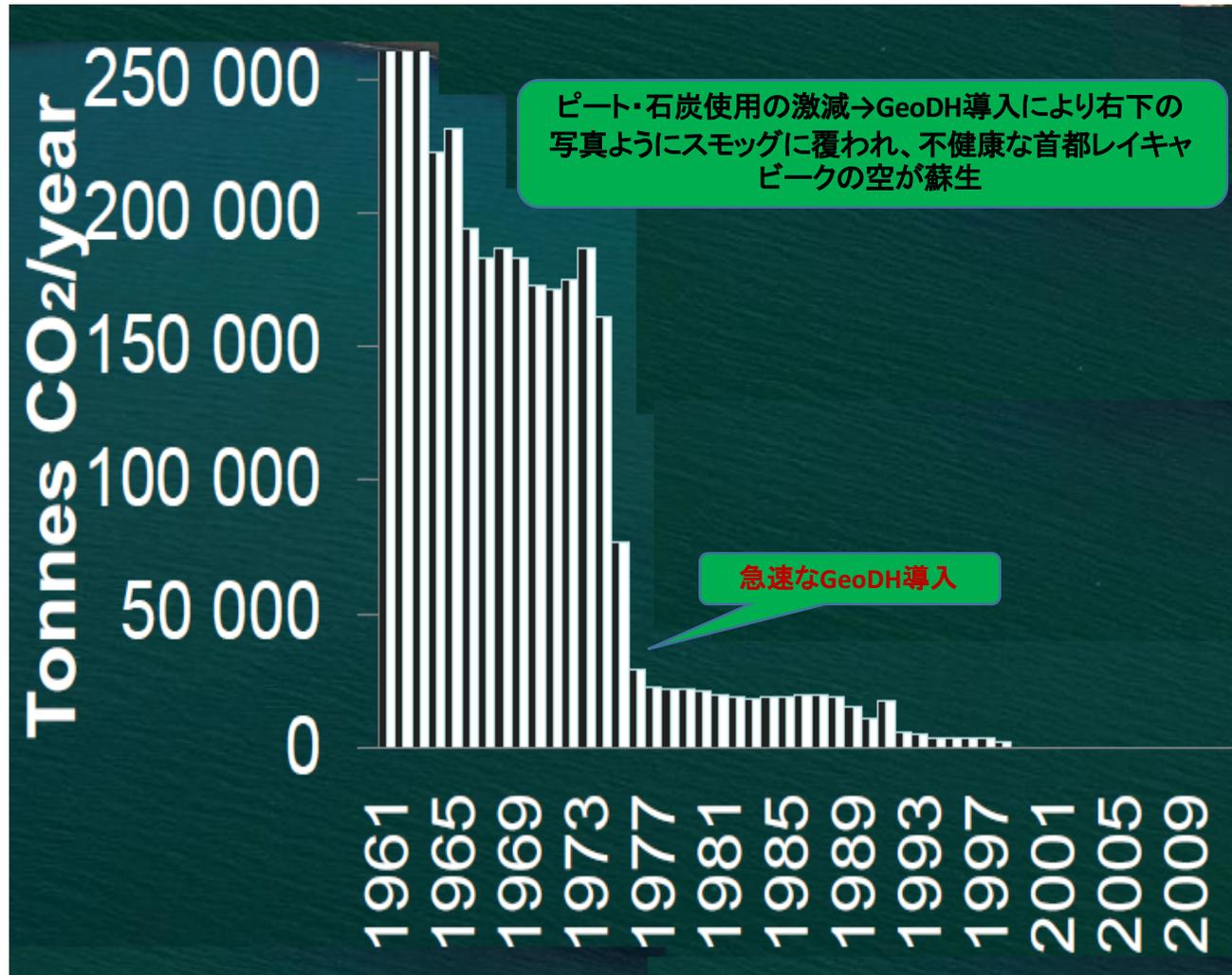
オイル代替によるGeoDH熱システム導入効果(1990~2010)

累積CO2削減量の総量と効果: 3千5百万トン



地域暖房によるレイキャビークのCO2削減効果

スモッグ～清浄な大気への転換



アイスランドのGeoDH政策等に関して(1)

首都レイキャビクの熱利用—GeoDHシステムの活用と効果

■地熱エネルギー・・・ 熱と電気の併給

- 世界で早くも1930年・・・建物の熱供給は洗練された最大の地熱ユーザー
- 750MWの熱利用の電気利用と毎年6000万m³のGeoDH
- 地熱の高エネルギーエリアにレイキャビクの30km東の5基の電力/熱のプラント。
- レイキャビクエネルギー社は、毎年温水6300万tを約170,000人に供給。暖房が85%、入浴・洗濯15%、「暖房」は、家、水泳プール、温室、道路・歩道の融雪用。
- 高温帯は発電使用。また都市に入る前に、熱交換器。冷却した水は再循環し、直接下水施設。更に熱水を加え加温するか、排水管に排水。
- 高温帯(1000m以深、200°C以上の温度)と同様に低温帯(約1000m未満、150°C未満の温度)の温水。低温帯温水は約1,300kmの都市熱供給システム(配管)で直接供給。

■ヨーロッパの最貧国から離脱

- 地熱エネルギーは、比較的貧しい国から非常に高い生活水準に変化。

■化石燃料依存の削減

- CO₂排出は世界で最もクリーンな都市の1つ。
- 地熱の都市使用: 1億1千万トンのCO₂が大気排出防止(1944年から2006年)
- 毎年、最高400万トンのCO₂削減削減

■アイスランドの地熱関連の知的基盤の国際的展開、貢献

- 国連大学地熱教育プログラムとアイスランドの全国的なエネルギーノウハウなどが、開発途上国が地熱エネルギーの可能性を手助けするために設立。

アイスランドのGeoDH政策の歴史的背景と示唆(2)

■経緯と政策など

1. 世界大戦と石油ショックがGeoDH政策の必要性を増進
 - ・地球規模の危機がアイスランドのGeoDH政策に緊急性を
2. GeoDH政策に対する政治的、公的、部門的、財政的認識
 - ・エネルギーセキュリティ、経済的、環境的理由からGeoDH政策は、国家・主要市の基本的認識
3. リスク・ローン: GeoDHのためのドリル試錐のリスク低減
4. GeoDHに転換→居住者への財政的支援
5. GeoDHのドリル試錐、建設上の財政やローンの仕組み
6. GeoDHへの機会を認識するための財政的制度
7. 年間GDPの約7%、国民一人年間3千\$相当を享受。

■地熱エネルギーの導入がもたらす主要な機会

1. 自然資源の活用
2. 経済的機会と節約
3. エネルギーセキュリティの改善
4. GHG排出削減
5. 化石燃料の依存度の低減化
6. 産業的、経済的活動の改善と展開
7. 低炭素と地熱技術産業、雇用機会の創出
8. 生活の質の改善

アイスランドのGeoDH政策等に関して(3)

■国際的な連携体制

①国際的な連携、協働的な視点—UNU-GTP制度と効果的な展開存在

- UNU-GTP制度により58ヶ国583人(1979~2014)の研修等の実績
- UNU-GTP制度は、学士後プログラムで地熱探査と開発のキャパビルの途上国対応
- プログラムは、重要な地熱の潜在を持つ途上国・移行国の開発のための専門技術の半年間訓練。実行中で技術移転が最大化可能な地熱開発が進んでいる国を対象。

②国際的な連携、協働的な視点—その他の協力体制

- アフリカ共同のGeothermal Iceland 社、世銀、ノルデック開発ファンド
- 2012年協定が「アイスランド、世銀、ノルデック開発ファンド」にある。
- 協定は、5億\$の世銀援助の下で世界の地熱開発計画の開発。
- 協定は、アフリカの地熱の可能性調査と試掘を供給する内容を含む。

③国際的な連携、協働的な視点—(Geo thermal ERA NET、※)

- ”Geo thermal ERA NET“ 目的:地熱エネルギーの情報交換
- ヨーロッパ地熱情報プラットフォーム作成の基本作業
- ハイライト な障壁の推薦的で賞賛できる実地的な解決法
- 経済的機会、エネルギーセキュリティ、気候変動のCO2削減のための

※ヨーロッパ地熱開発強化の推進策

- 地熱の科学的、政策的問題と付加価値と主要なステイクホルダーと公的関心を高めるコミュニケーション
- 研究訓練とモビリティの移転協働を推し進める
- 地熱エネルギー技術研究、開発、イノベーションに関する欧州共通の地熱アクションプランの政策と実施
- ジョイント地熱活動の準備と実施(国際間ファンド活動など)

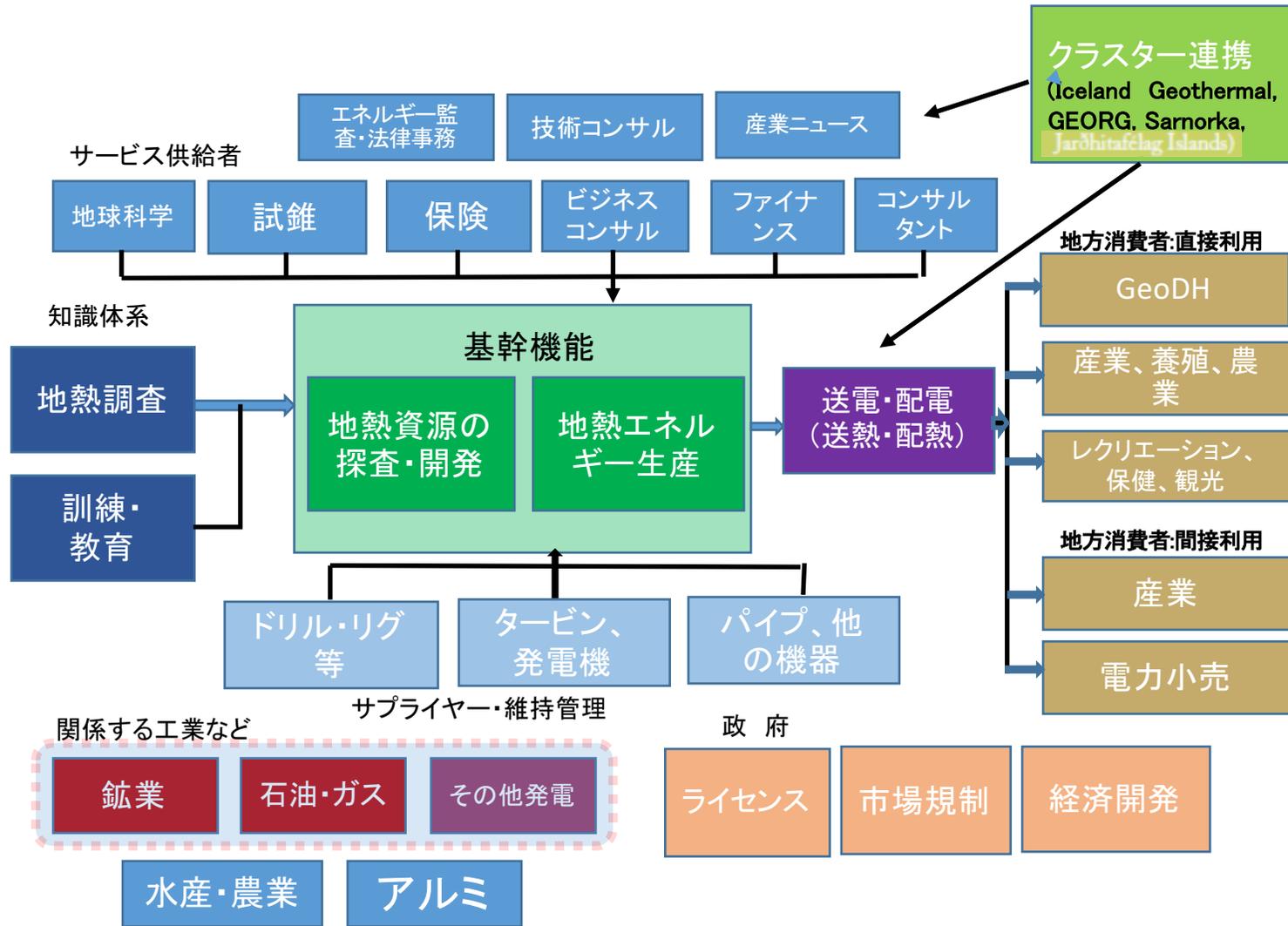
アイスランドのGeoDH政策等に関して(4)

■まとめ <アイスランドの秘訣は? ... 8つの要素>

- ①当局と規制
- ②豊富な地熱資源
- ③科学的知見の蓄積と技術的要因
- ④教育と人的要素
- ⑤資本へのアクセス(資金とコスト)
- ⑥インフラ、市場、産業部門とクラスター
- ⑦国際市場とサービスへのアクセス
- ⑧会社機能、管理、専門性、産業、クラスターの相互アクセス

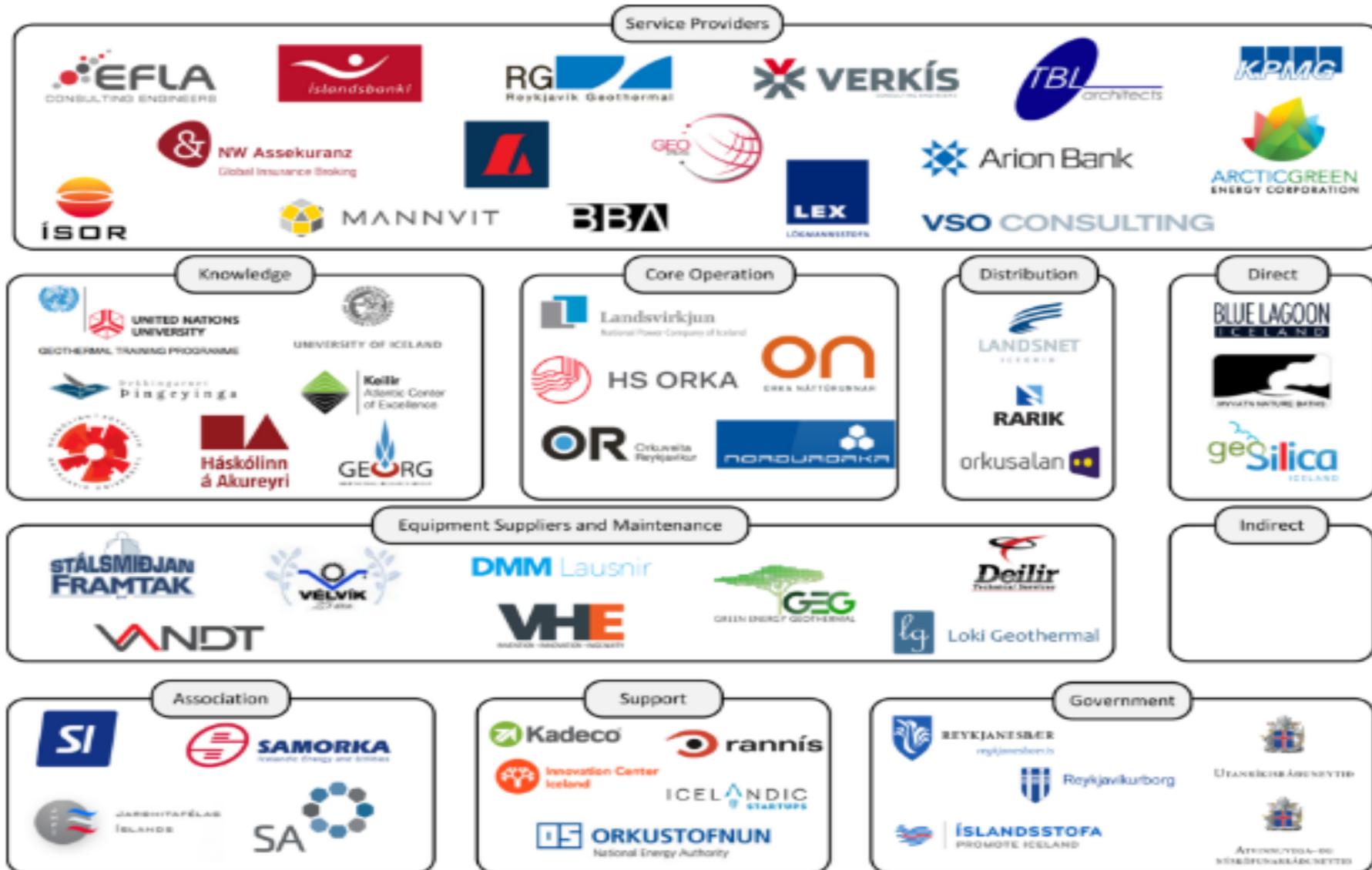
アイスランドのGeoDH政策等に関して(5)

”Iceland Geothermal”の地熱クラスター連携の詳細(1)



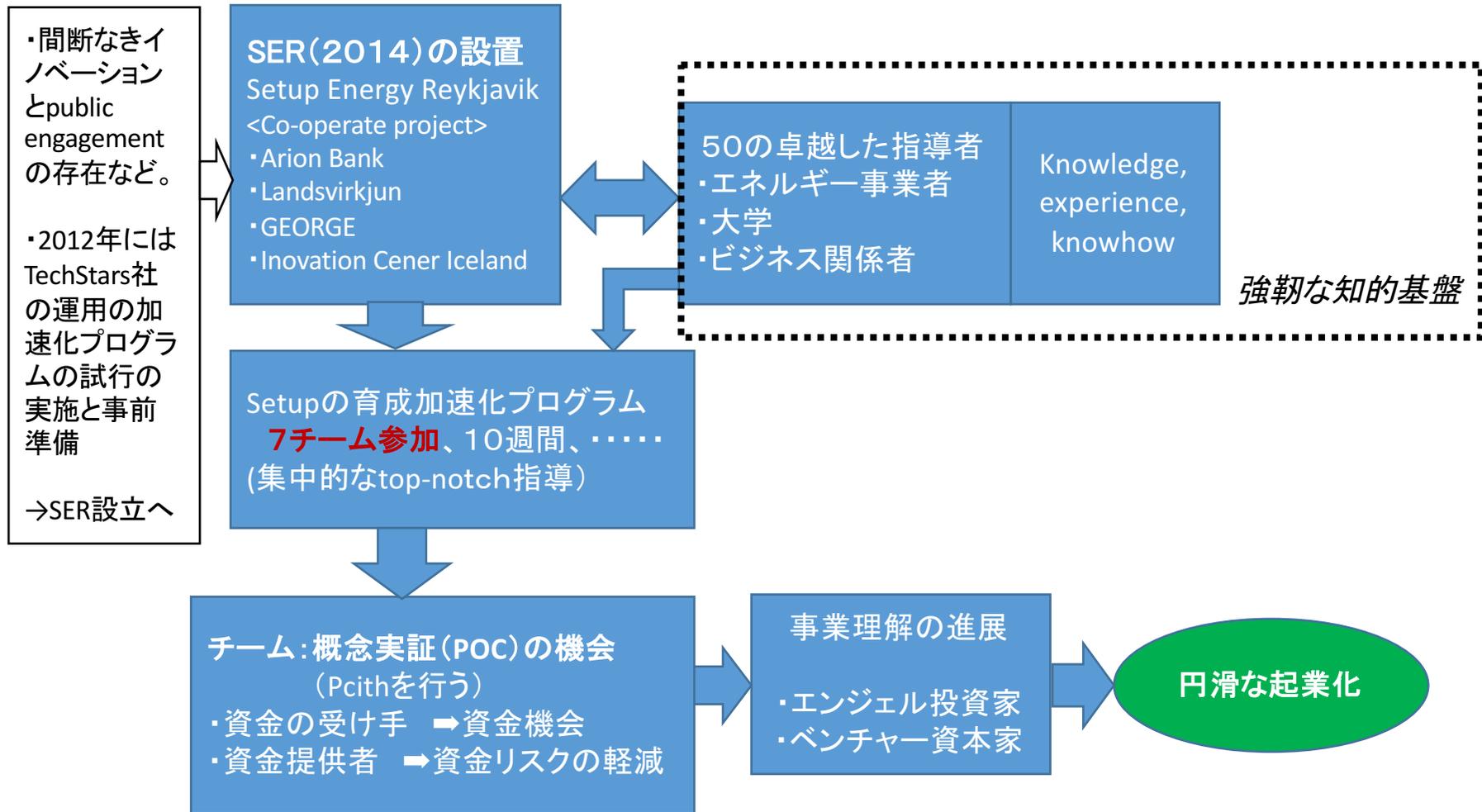
アイスランド・クラスターの50の構成メンバー

”Iceland Geothermal“のクラスターの詳細(2)

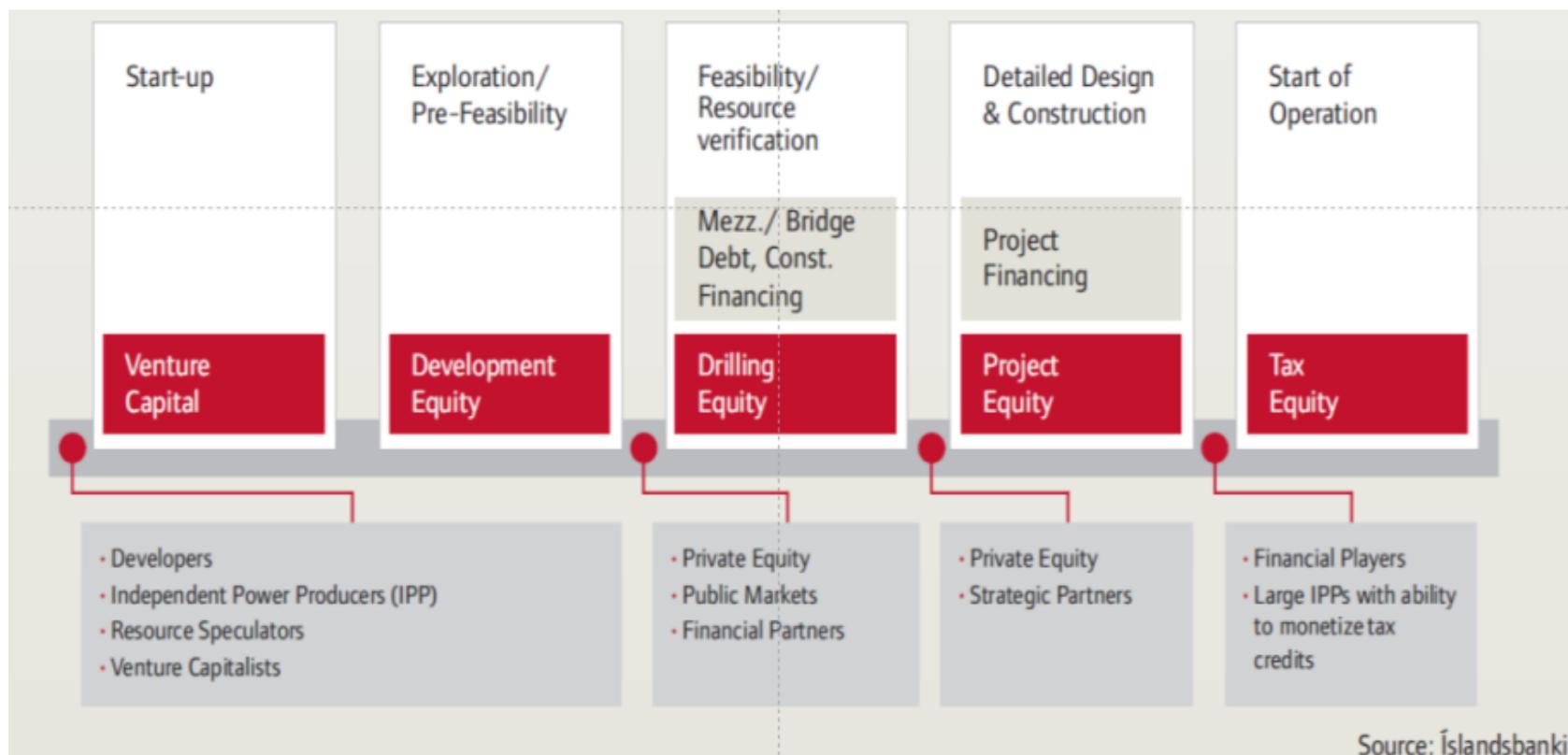


SER:エネルギー分野における強力な育成加速化プログラムとsetup企業

— 多くの卓越したmentorsの陣容と強靱な知的基盤 —



地熱開発事業の各ステージと財政オプション



アイスランドの地熱資源開発に係る変遷

▶ アイスランドでは、公的事業主体による開発体制、暖房利用等による国民の地熱多段利用の浸透等の要因により、地熱資源開発が大いに推進されている。

資源特性

- 1次エネルギーの約80%を再生可能エネルギーに依存
- 豊富な地熱・水カエネルギーを有している
- 地熱は、発電電力量の約27%を占める

社会的特性

- 地熱資源の活用が、暖房用途としてスタートしており、国民の開発への抵抗感がない

産業特性

- 事業投資が、公的事業主体により推進されており、ハイリターンを望まない開発が進む
- 再エネの割合がほぼ100%のため、地熱推進のための財政支援がない

外部環境

開発状況

導入目標

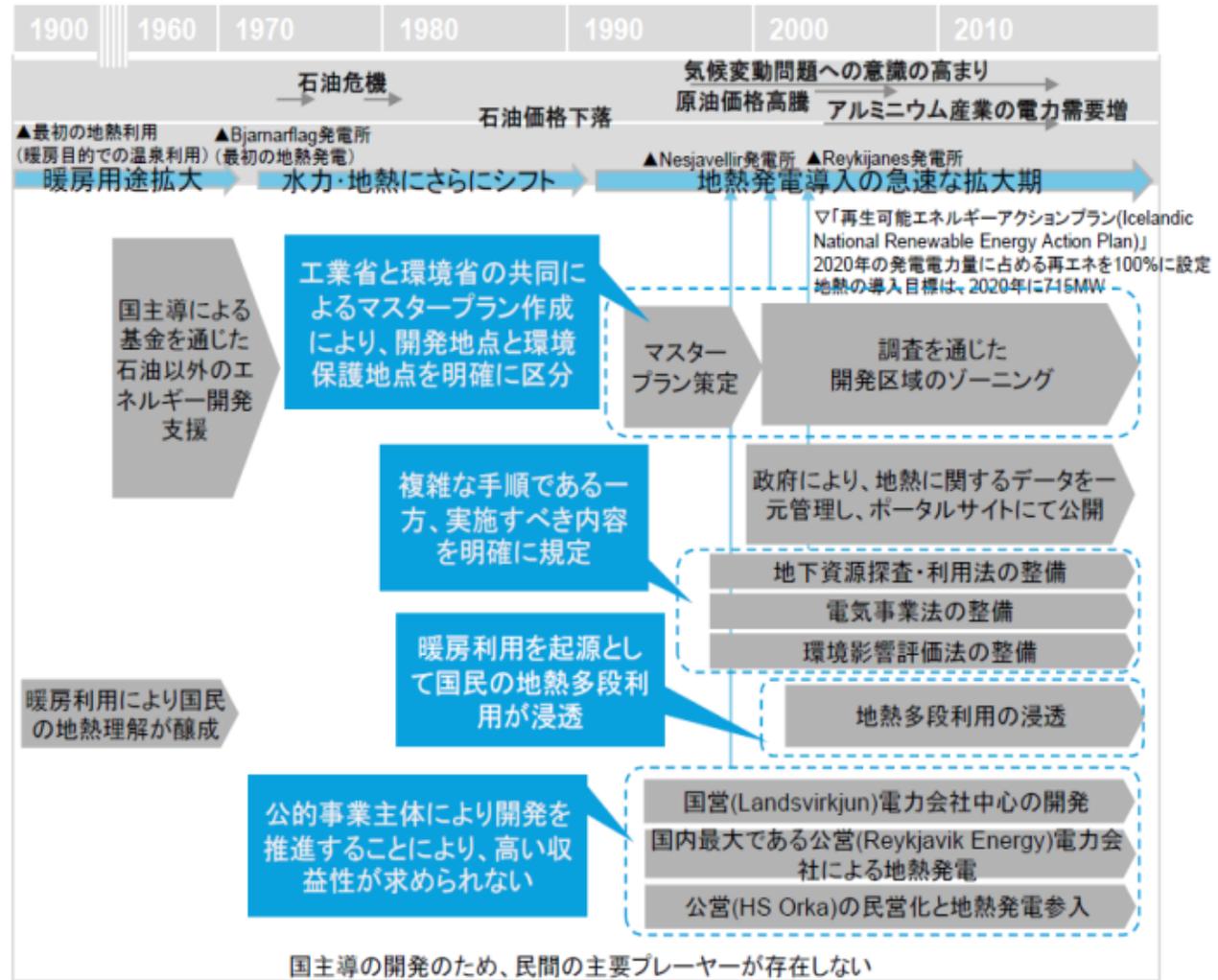
開発区域

開発手続

地元合意

財政支援

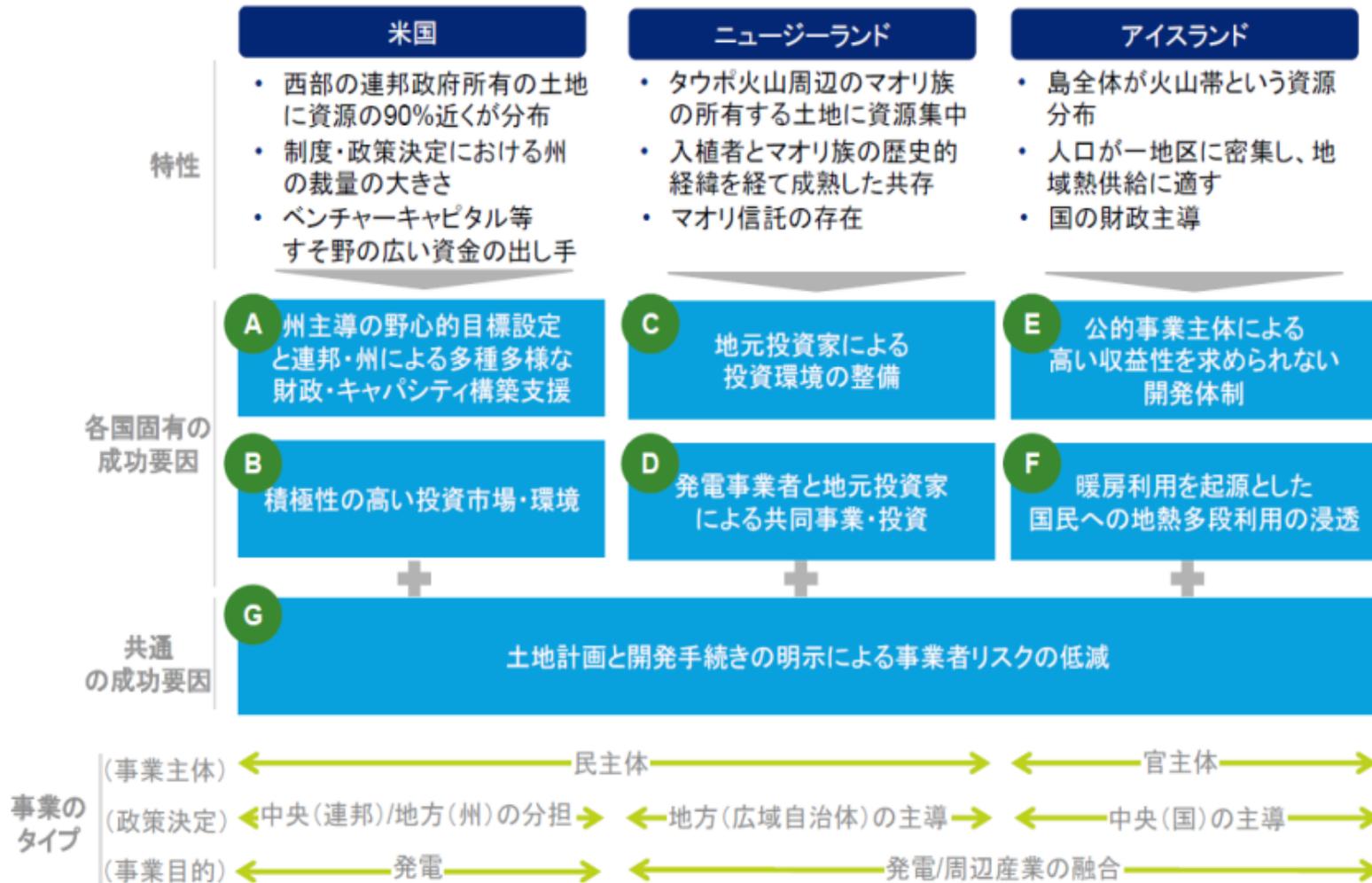
電力セクターの動き



出典:地熱発電の推進に関する研究会作成資料,2016.

地熱資源開発推進の成功要因

▶ 地熱資源開発が進んでいる米国、ニュージーランド、アイスランドにおいては、各国の特徴に加え、共通して土地計画と開発手続の明確化が措置されている。



出典:地熱発電の推進に関する研究会作成資料,2016.

地熱の取り組みについて:アイスランドと日本の比較(1)

図表〇〇地熱先進国→導入目標設定、法的位置付け、国主導の資源調査

	アイスランド	日本
1. 法的位置づけ① (根拠法)	<ul style="list-style-type: none"> 根拠法: 地下資源探査利用法(1998) 地熱の定義: 岩盤内の蓄積エネルギーと地下水以外の地球内部からの一定の熱流量 資源の所有権: 土地の所有者に帰属 	<ul style="list-style-type: none"> 根拠法: 不在(地熱資源は温泉法で定義された温泉に該当。地熱開発は温泉法、電気事業法等の規制を受ける) 地熱の定義: 温泉法によると、温泉とは、地中からゆう出する温水、鉱水及び水蒸気その他のガスで25℃以上又は一定の含有成分のもの 資源の所有権: 温泉法では直接的には触れていない
2. 法的位置づけ② (開発区域、手続き)	<ul style="list-style-type: none"> 開発区域の設定: 工業省と環境省が、マスタープランを作成。開発地点と環境保護の地点を明確に区分 開発手続: 初期探査、資源利用、発電所建設それぞれのためのライセンス取得が必要 	<ul style="list-style-type: none"> 開発区域の設定: なし 開発手続: 温泉をゆう出させる目的で土地を掘削する者は都道府県知事に申請、許可を得る必要がある(温泉法)
3. 推進施策 (法的な施策)	<ul style="list-style-type: none"> RPS: なし FIT: なし 余剰電力買取: なし 	<ul style="list-style-type: none"> RPS: 2012年7月FIT開始に伴い廃止 FIT: 2012年7月より開始 余剰電力買取: 2012年7月よりFITに移行
4. 推進施策 (財政的措置)	<ul style="list-style-type: none"> 補助金・助成金: なし 税控除: なし 公的投融資・公的債務保証: なし 注1)、注2) 	<ul style="list-style-type: none"> 補助金・助成金: 地熱調査等事業費、坑井掘削等事業費 税控除: 固定資産税の軽減措置 公的投融資・公的債務保証: 地熱資源探査資金出資・債務保証(JOGMEC)、特別金利での融資(日本政策金融公庫)
5. 推進施策 (その他の施策)	<ul style="list-style-type: none"> 国や国営企業による調査: 国営、公営、元公営の電力会社により、調査及び開発を実施 国による地熱資源DB整備: 政府機関がDBを管理・公開 	<ul style="list-style-type: none"> 国や国営企業による調査: 地熱開発促進調査(~2010)等 国による地熱資源DB整備: 資源のポテンシャルに関する基礎情報のDBは存在
6. 開発規制	<ul style="list-style-type: none"> 環境影響評価: 環境影響評価法(2000)により規定 国立公園内開発: 自然保護法(1999)により自然保護地域内の開発が制限 	<ul style="list-style-type: none"> 環境影響評価: 環境影響評価法(1997)により規定 国立公園内開発: 自然公園法(1957)により公園内の開発が制限

注1) National Energy Fund(Regulations of National Energy Fund No.513/2003)掘削失敗のコスト80%補償スキーム。用途が、温熱利用用途の掘削に限定され、補償額も少額で小規模開発用である。地熱発電には適用できない。(National Energy Authority, 2013)。

注2) 暖房補助金(Act on Subsidizing Residential Space Heating Costs No.78/2002)アイスランド全体の暖房の10%(温熱供給エリア外の地域住民)は電気や化石燃料暖房を使用。高額な分を補助金支給。

出典:「諸外国の地熱発電普及促進制度調査報告」有限責任監査法人トーマツ(2014)を整理・作表。

地熱の取り組みについて:アイスランドと日本の比較(2)

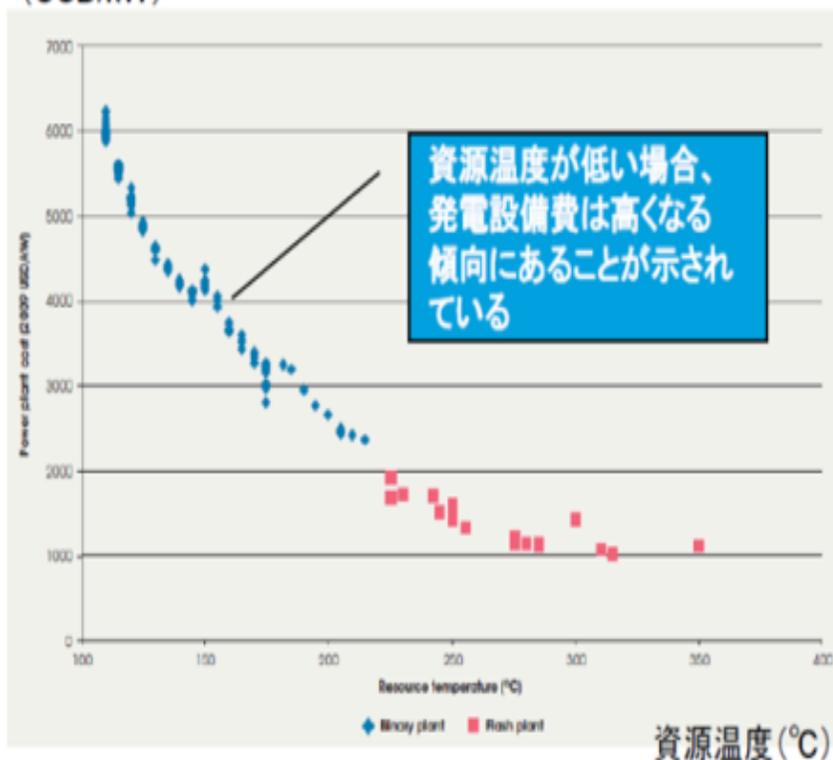
□図表□アイスランドの地熱発電促進に効果的であった施策など。

●開発促進に効果的な施策など。	概□要。
①明確な導入目標。	・再生可能エネルギーアクションプランにおいて、2020年までの導入目標が記載。 ・2020年の再生可能エネルギーによる発電比率100%、地熱発電導入目標715MW。
②開発区域の明確化。	・地熱・水力開発マスタープラン。「Utilization class」、「On Hold」、「Preservation Class」の3カテゴリに分類。・アイスランドでは政府作成のマスタープランで開発/保護区域を明確に区分。・アイスランドのマスタープランに開発促進区域が明確。
③明示的な開発手続き。	・環境影響評価法—評価プロセスで、政府組織(National Planning Agency)が処理に要する最大時間を明示。
④初期の資源探査リスクの低減。	・マスタープランで開発候補地点選定に必要な基礎的な表面調査は、政府主導で実施。
⑤地熱開発のリスクマネジメント手法。	(NZ)—段階的開発等を通じて地熱開発リスクを管理・低減。
⑥持続可能な開発と環境リスクに対応する管理手法。	(NZ)—環境に配慮した持続可能な開発を要求され、資源枯渇時の補償スキームがあり、事業者への損害賠償要求が可能□□□□□□NZ:ニュージーランド。
⑦地元との合意形成プロセス。	・長年にわたる暖房用途での地熱の直接利用を通じた地熱の発電利用に対するコンセンサスの醸成。・温浴施設や温室等に熱水を供給(地元メリットの創出)。
⑧地熱の直接利用・多段利用(カスケード)。	・温熱利用(暖房・給湯・プール・温浴施設・ロードヒーティング・農業・漁業)。 ・シリカを活用した化粧品や、CO ₂ ・H ₂ Sを活用したメタノール製造。
⑨データベースの整備。 (データベースは1989年から運用が開始)。	・地熱に関連する情報は、National Energy Authority が管理・公開、1904年以降掘削された、13,000箇所近くの掘削データの確認が可能(13,000近くの井戸データや、地図情報データの一元管理)、(一部はWEB上で公開されており、誰でもアクセス可能)。 ・地熱に関連する情報は、National Energy Authority が管理。
●留意事項□……□□(1)度重なる制度改変□、□□(2)地熱の資源特性を鑑みた制度設計。	

国内外の発電設備費の比較

資源温度と発電設備費の関係

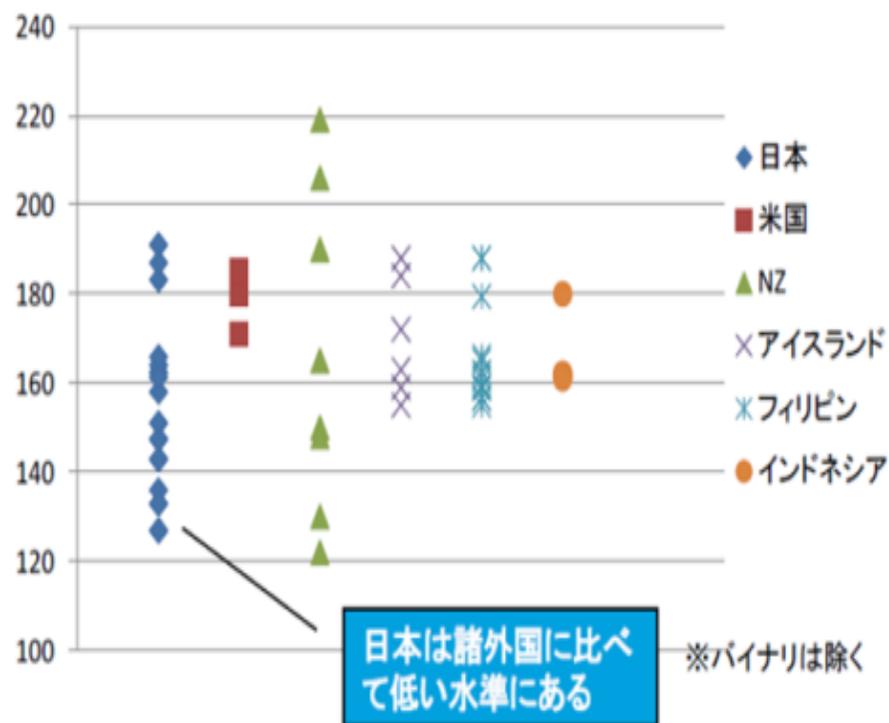
発電設備費
(USD/KW)



出典: IRENA "Renewable Power Generation Costs in 2012: An Overview" (2013)

各国の地熱発電所における
地熱蒸気温度(蒸気条件)の分布

蒸気温度(°C)



出典: 火力原子力発電技術協会「地熱発電の現状と動向2012年」を基に作成

諸外国の掘削費は日本の1/3から3/4程度の水準にある

国名	設備容量	掘削費 (生産井・還元井)	1MWあたり掘削費 (日本を1とした場合)	生産井1本あたり出力	掘削成功率
日本	30MW	78m\$	2.6m\$(1)	3MW(成功率織り込み済)	
ニュージーランド	30MW	60m\$	2.0m\$(0.77)	8MW	80%
アイスランド	90MW	73m\$※1	0.8m\$(0.31)	5MW※2	60%※2
世界	50MW	70m\$	1.4m\$(0.54)	—	

※1 現在開発中のプロジェクトにおける想定値

※2 アイスランドにおける一般的な値

諸外国の発電設備費は日本の1/2以下の水準にある

国名	設備容量	発電設備費	1MWあたり発電設備費 (日本を1とした場合)
日本	30MW	115m\$	3.8m\$(1)
ニュージーランド	30MW	54m\$	1.8m\$(0.47)
アイスランド	90MW	156m\$※1	1.7m\$(0.45)
世界	50MW	75m\$	1.5m\$(0.39)

※1 現在開発中のプロジェクトにおける想定値

出典:

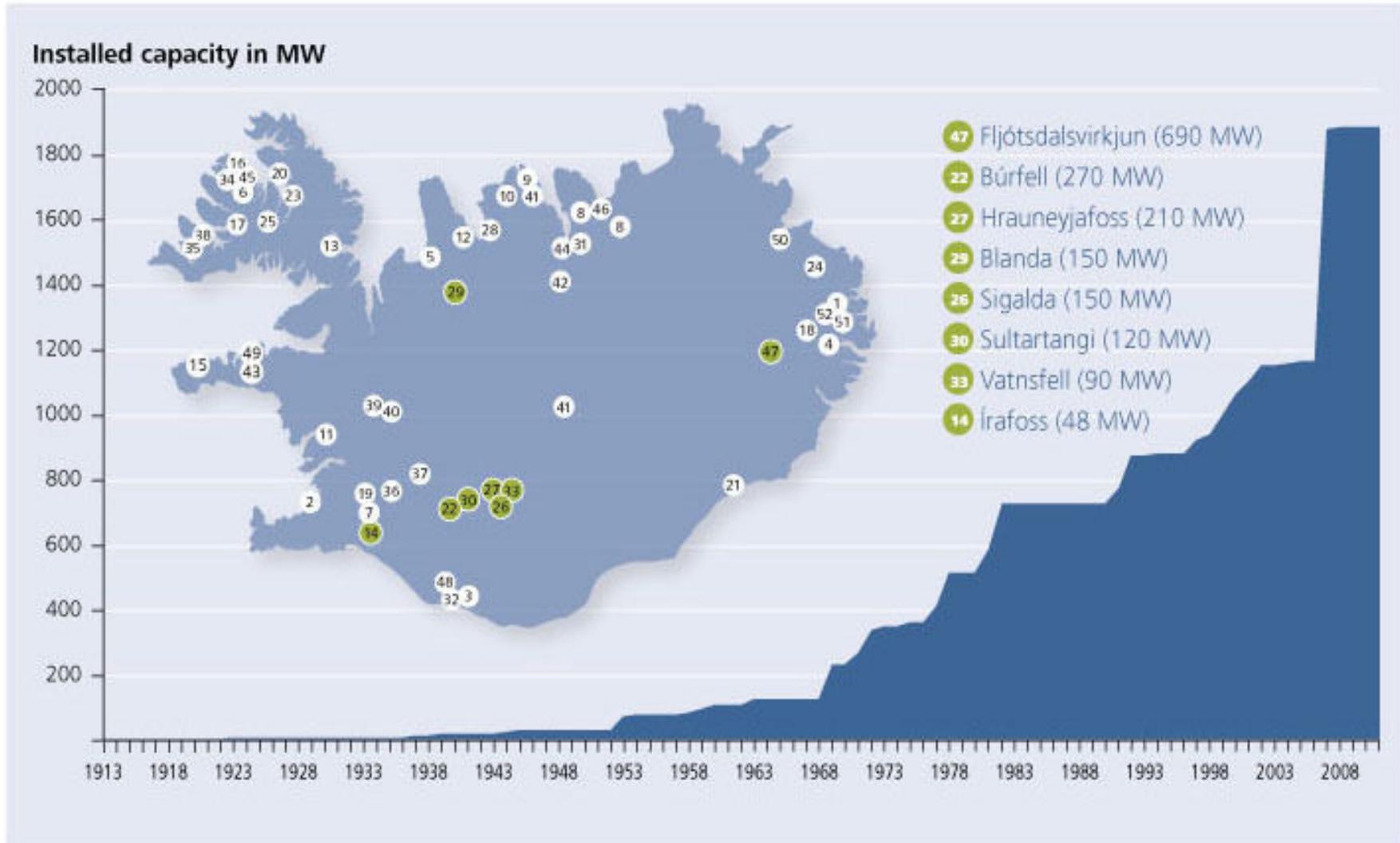
日本 第3回調達価格算定委員会資料およびヒアリング結果をもとに作成

ニュージーランド コンタクトエナジーからのヒアリング結果をもとに作成

アイスランド レイキャビクエナジーからのヒアリング結果をもとに作成

世界 World Bank, Energy Sector Management Assistance Program "Geothermal Handbook" (2012.6) をもとに作成

4. 再生可能資源：高地の氷河資源と国内52ヶ所の水力発電



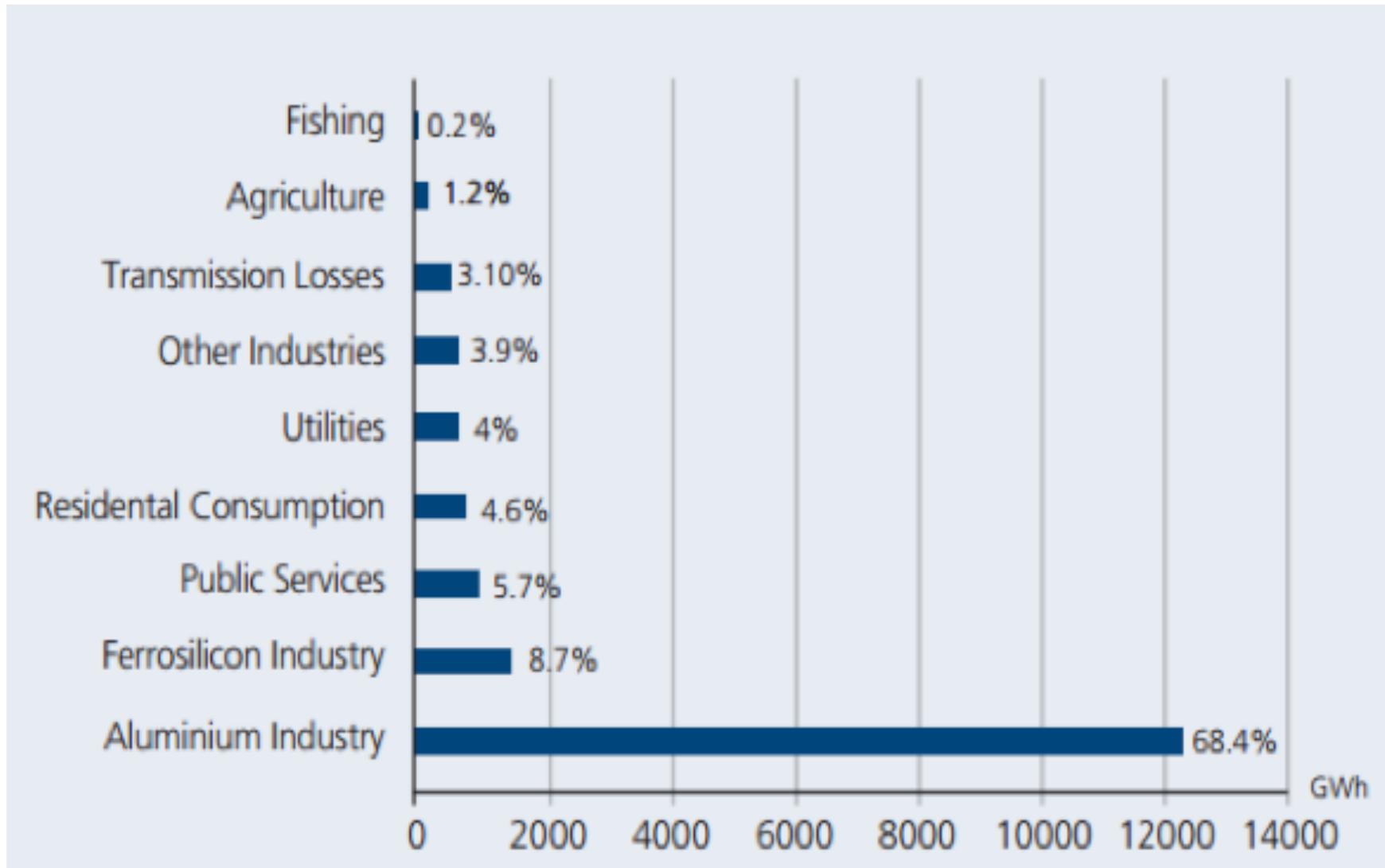
カウランユーカー水力発電所—ヨーロッパ最大の水力発電所



ダム型式	ロックフィルダム
堤高/堤頂長	193 m /730 m
総貯水容量	8.5x10 ⁶ m ³ =850万m ³
発電設備能力	6 x 11.5 万kW=69万kw
型式	Francis-type
事業主体	国営電力Landsvirkjun社
着工年/竣工年	2003年/2007年

- (1) 年間発電量: 東へ75kmにあるアルコア社のファルザルアウルアルミ精錬所への供給。
- (2) 貯水池ダム型: 現在、アイスランド方式を検討中。5つの[ダム](#)によって、3つの貯水池。貯水池の水は、約73kmの地下トンネルを通り、420m下にある地下発電所に到達。Kárahjúkastíflaダムは5つのダムの中で一番大きく、長さ730m、高さ193mとヨーロッパ最大級のダム。精錬所は2008年に稼働し、水力発電計画は2009年に完成したが、環境への影響と外国人労働者等に厳しい批判。
- (3) アルコア社の「持続可能性イニシアチブ」活動。企業や政府、電力会社、地域住民、教会、環境保護団体など、さまざまな利害関係者が話しあい、地域の生活水準を引き上げたか、雇用や環境対策を約束通り実行しているか、とアルコア社が長期にわたり守るべき基準を定める。資源のリサイクル、アルミニウム生成時の廃棄物や有毒な亜硫酸ガスを減らす最新技術の導入で、世界一の効率性、安全性、環境にも優しい製錬所を目標としている。
- (4) アイスランドの水力発電 (バッテリー効果)
—貯水池ダム型水力発電が多く、将来的には系統の運用の微調整を想定。この件に関しては、国際連携線の事業計画の策定が求められている。英国は、関心をしめし、事前調査等については、協力して進めている段階である。

5. 緑化熱電と大量消費：電力多消費産業の存在

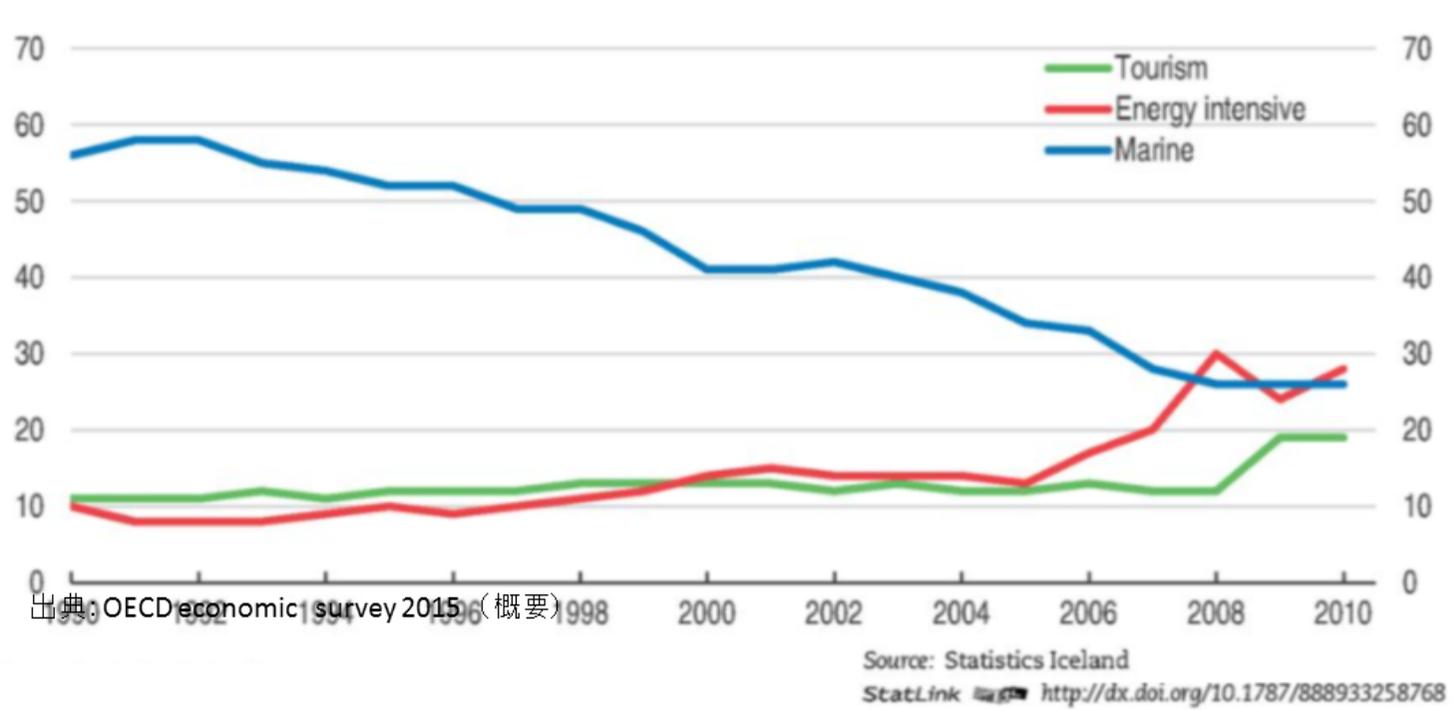


(2013実績)

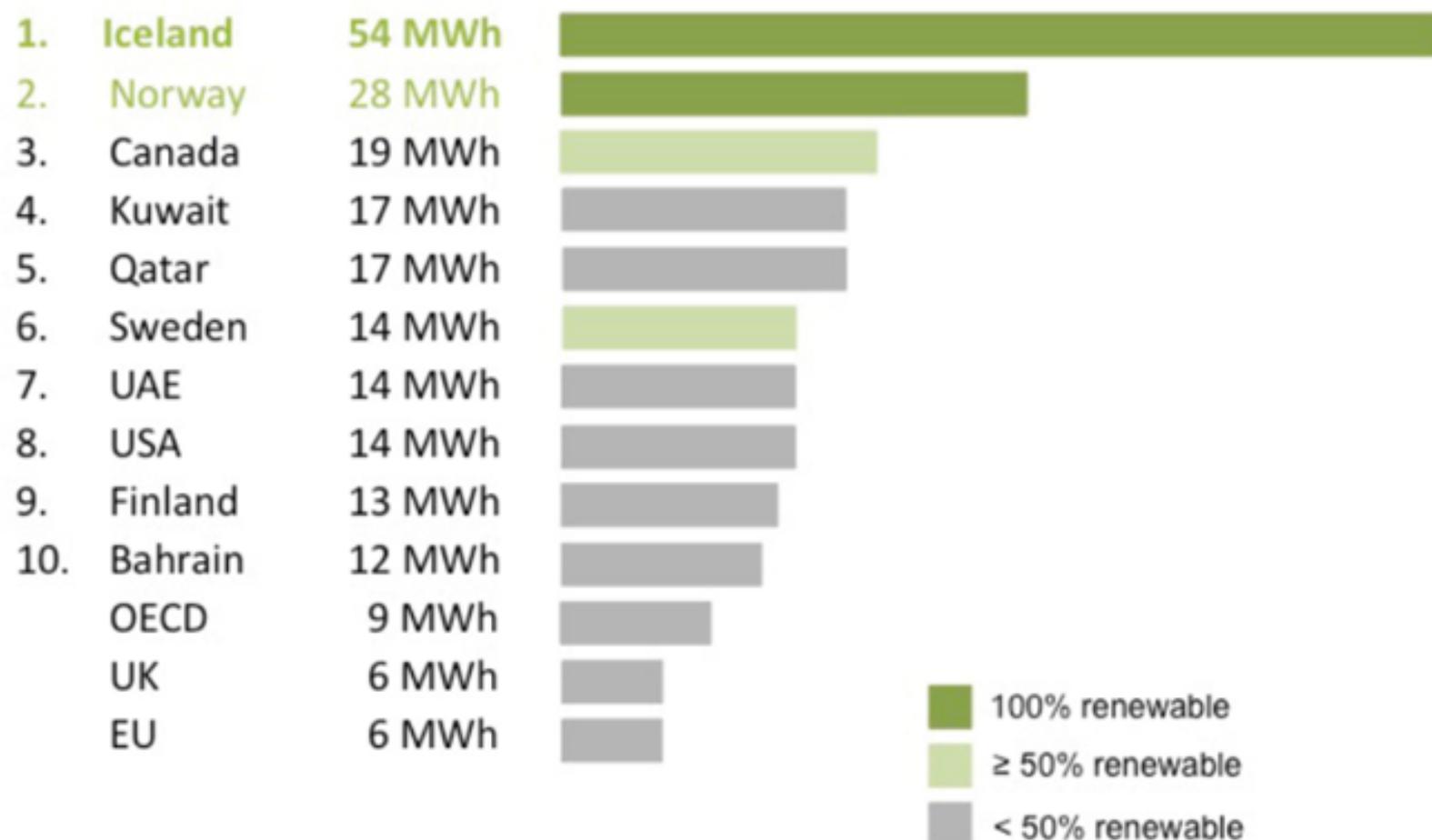
驚異的に成長する電力消費、……。

- 2005年～2010年にかけて、発電は倍増。低コスト(主に水力)の発電にある。
- 新規増加は、多消費産業、サービスに供給。成長の背景には、アイスランドの競争的な価格にある。豊かな自然の水力と高温の地熱資源は、アイスランドの電力価格は、ヨーロッパ各国に対して競争的。(天然ガスで非常に安い)USのspot価格でさえ、アイスランド電力会社にとって脅威でない。
- 基本的必要な電力量をEU内で経営したい電力会社は、アイスランド電力市場で提供される長期的協定(12年にわたり43\$/kwhのランズヴィルキン社との契約)と同等なことはできない。
- アイスランドの再生可能電力の需要が、数年先にわたり伸びることが期待されている。
- 無尽蔵で競争的な再エネの存在は、エネルギー多消費産業やサービスに対して魅力的な立地条件である。
- 例えば、データセンター、アルミニウムホイール製造業、シリコン産業に効果的。

図表 アイスランドのGDPの推移(%)



図表 国民一人当たりの年間電力消費量(KWh/人)



出典: IEA(OECD)/SEA、Askja Energy Partners(2012)より。

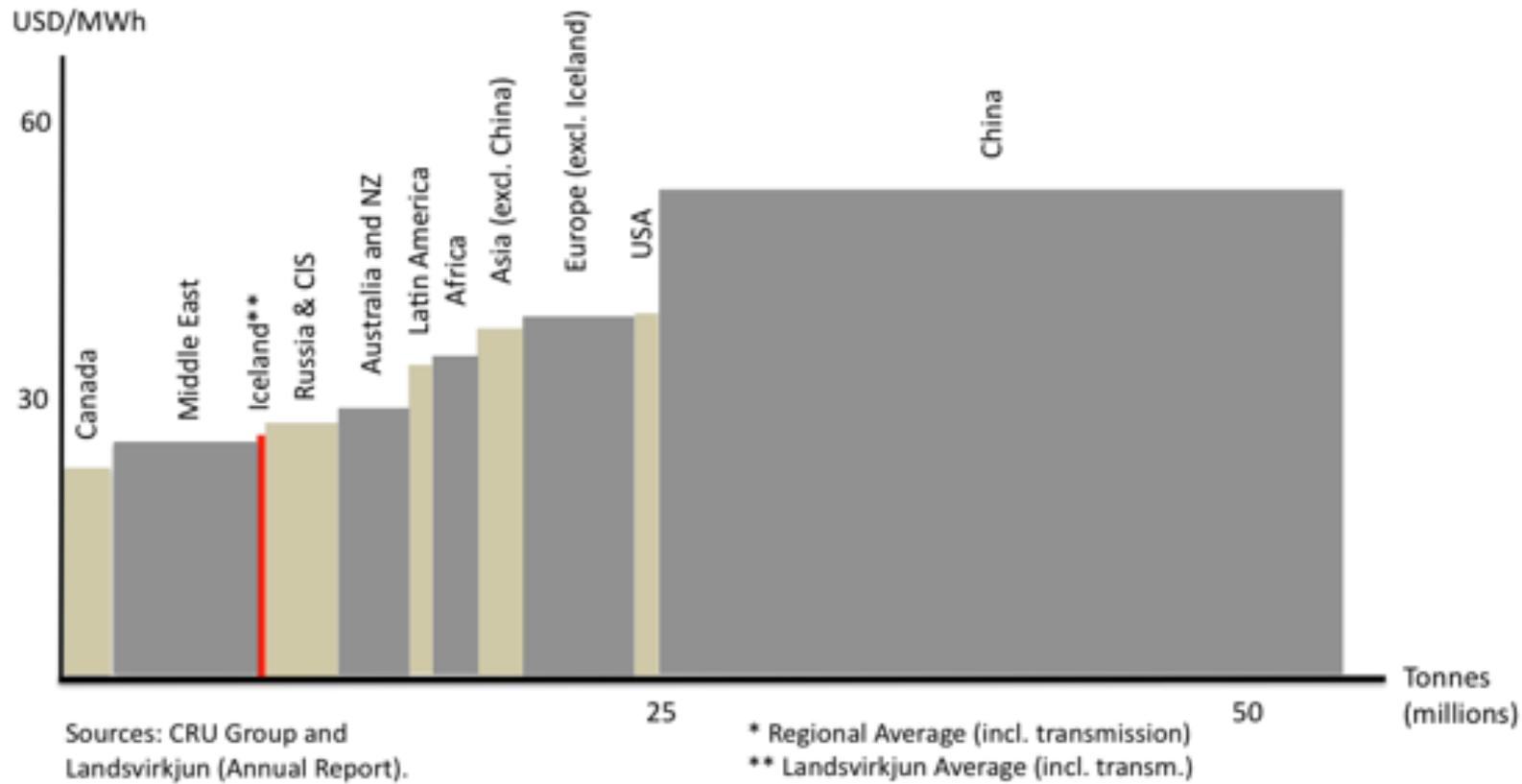
電力多消費産業の立地展開の現状と課題

Icelandic Aluminium Smelter Estimates - 2010						
Operator	Owners	Name	Online	Capacity (mtp/a)	Power Usage (GWh/a)	Employment
Rio Tinto Alcan	Canada	Straumsvik	1969	183000	2650	450
Century Aluminum Corp.	USA	Grundartangi	1998	260000	5203	500
Alcoa	USA	Fjarðaál	2008	346000	4600	450
Total				789000	12453	1400



Rio Tinto Alcan社(カナダ企業)のアルミニウム工場

世界のアルミニウム生産と電力料金 (TARIFFS)



© Askja Energy Partners 2015

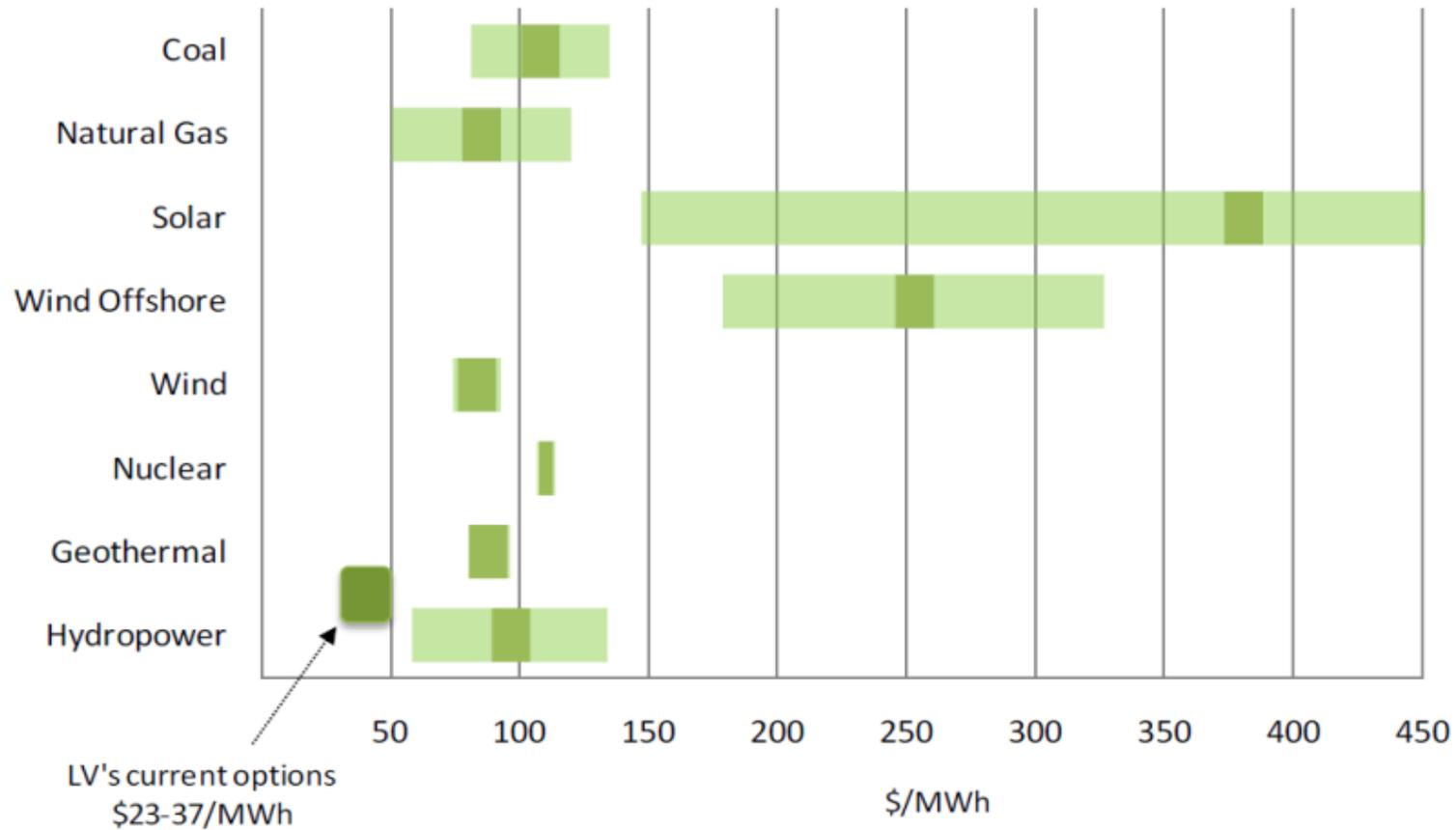
注) 価格は、発電料金と送電線利用料金を含む

出典: Electricity Tariffs to World's Aluminum Smelters、
 THE INDEPENDENT ICELANDIC ENERGY PORTAL、2015

IMPACT ON LANDSVIRKJUN'S FINANCIALS

2016年USA新規発電費用の予想(\$/千kwh、送電費用含む)

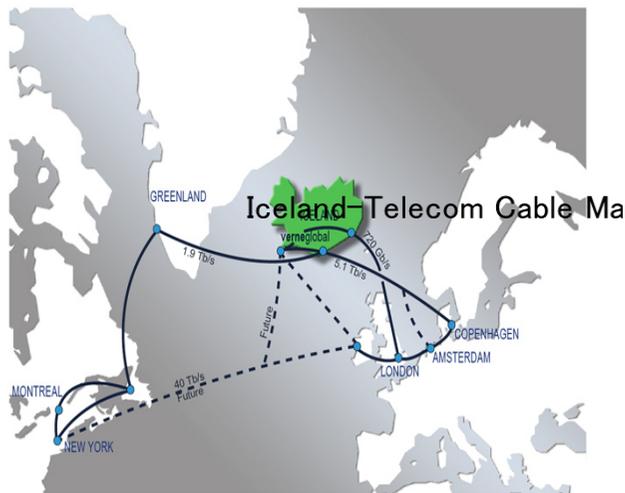
Graph 46: Estimated cost pr MW/h from new energy plants in USA 2016 (excluding transmission)



Source: EIA Annual Energy Outlook 2010, GAMMA

アイスランドのDC立地のHUB化と促進要因

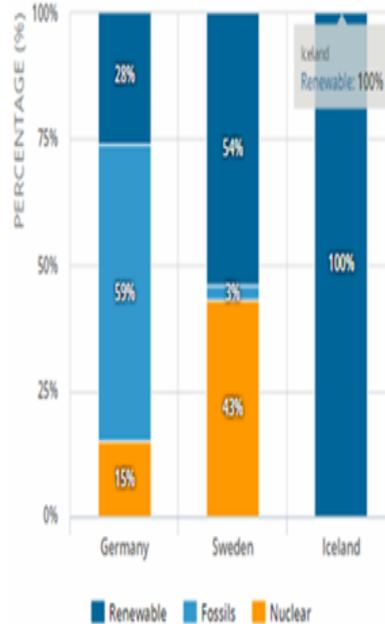
海底通信ケーブルシステム	データ伝送速度	通信区間など
Tele Greenland's Greenland Connect system	1.9 Tb/s	London, UK and Halifax, Nova Scotia via Iceland, Greenland and Newfoundland
eFarice's FARICE-1 system	720 Gb/s	Iceland and Scotland via the Faroe Islands
eFarice's DANICE	5.1 Tb/s	a four-fiber pair submarine cable between Iceland and Denmark



アイスランドの電力の特性

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.

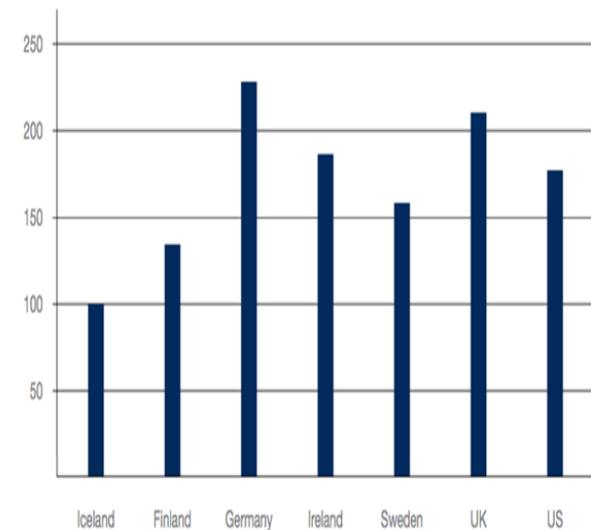
図表—グリッドのエネルギーミックス—
—炭素集約度ゼロのアイスランド—



出典: BroadGroup, Data Center Analysis and Benchmarking of Iceland, June 2013.

図表 10年間のデータセンターの運用費用の指数

10 year cost of data centre operations



注) 各国の総資本投資と10年間運用費用の現在価値を算出しアイスランド=100で各国を指数化した。

出典: BroadGroup, Data Center Analysis and Benchmarking of Iceland, June 2013.

電力多消費産業: Data Centerに有利な条件のアイスランド

Iceland's power infrastructure ranks among the world's best.



Quality of electricity supply (interruption and voltage fluctuations).

(1 = worse than in most other countries, 7 = meets the highest standards in the world).

■ 信頼性の高い電力供給

アイスランドの電力インフラは、世界一である。WEF(ダボス会議)はアイスランドの配送電のセキュリティは世界でもっと信頼性の高い3ヶ国に入る。アイスランドのTSO: Landsnetは、送電網を所有し運用している。グリッドは、発電所から直接電力を受けて配電会社と多消費産業に送電している。PUE(Power usage effectiveness)で1.07の実績

1. **Global connectivity** — ヨーロッパ、UK、USとの結合性

2. **Plentiful and Affordable** — 安価で、高品質で、長期的供給可能

ヨーロッパ、UK、USに、またEUの長期的電気料金の上昇している中で20年間にわたり、安価でインフレ対応の電力の供給が可能。

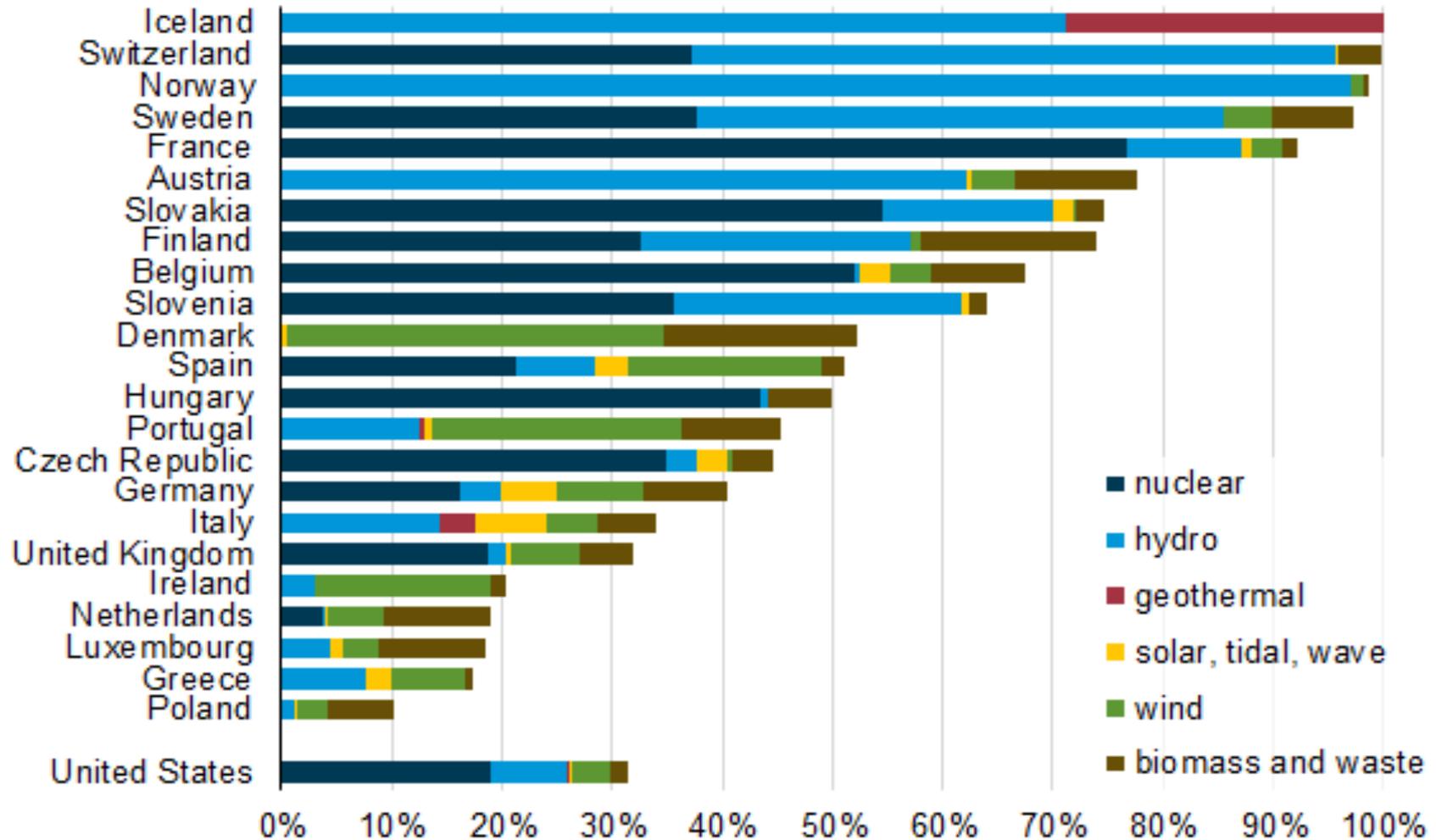
3. **100% Renewable** — 大気中への排出、化石燃料の供給不確実性、原子力の潜在的危機からはフリーと潜在量
西ヨーロッパただ一つの国であり、冷涼な気候は大きな利点。また潜在量の今後の開発は未来展開性がある。

4. **Highly Reliable** — ダボス会議: WEFの国際競争力報告書(2010-2011) — 電力品質6.9~7の評点で世界トップ
データセンターの平均的な停電が90分続くと30万ポンド(約4500万円、1lb=152円、2016.6)のケースもあり得る。

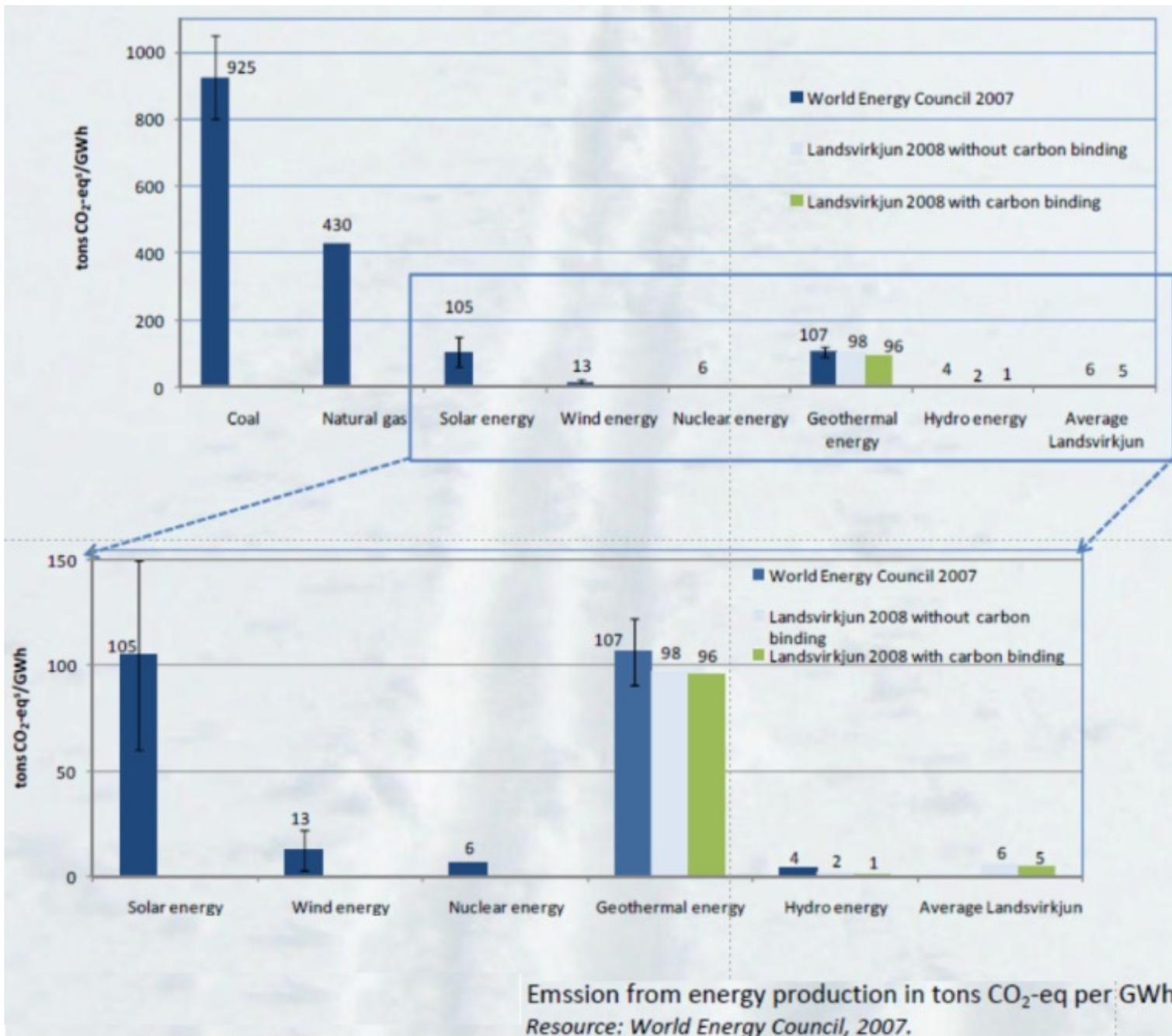
5. **Flexible and Scalable** — state-of-the-art co-location facility

6. 緑化熱電と低炭素社会

No-carbon electricity generation share in Europe and the United States (2012)
percent of total generation

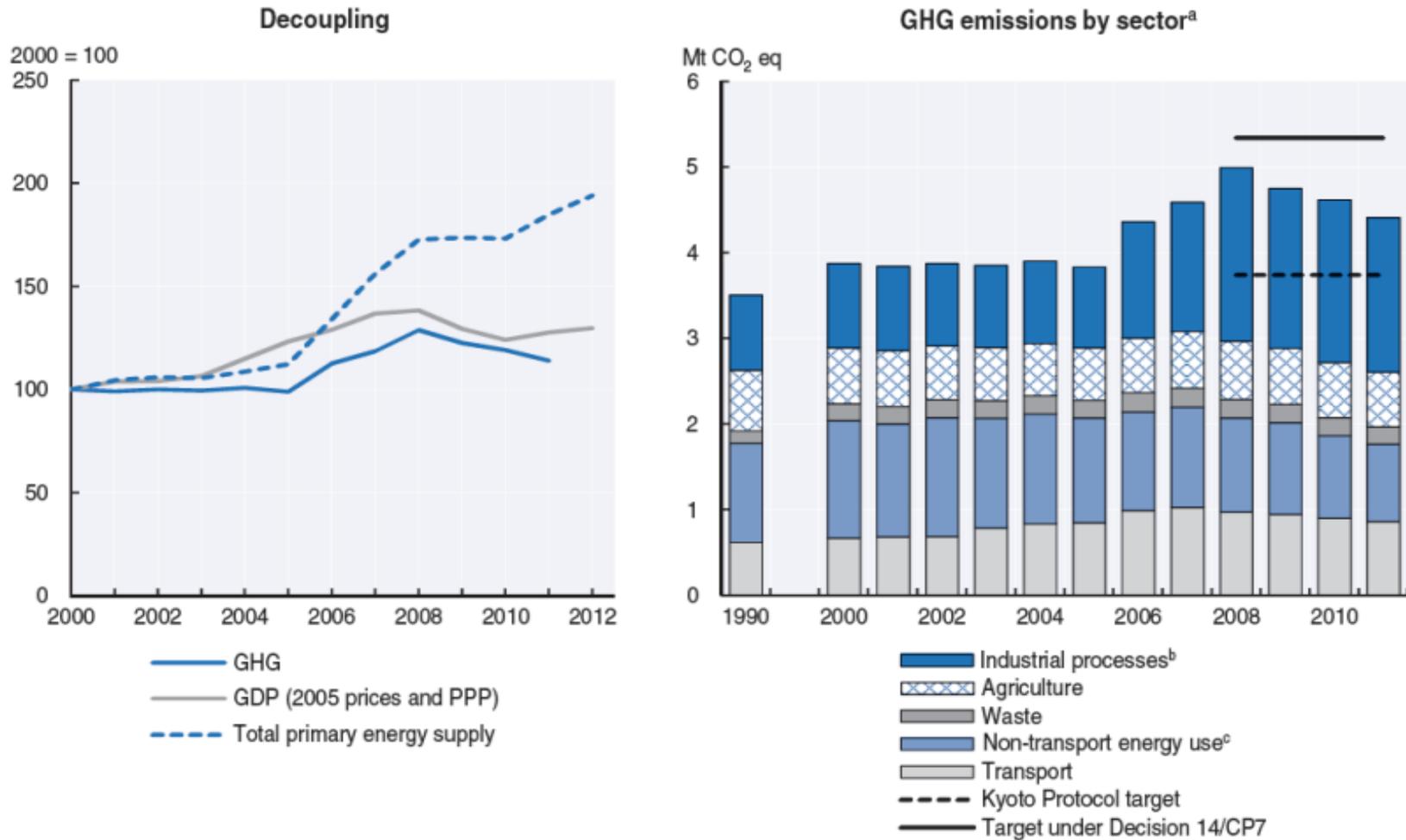


EIA: Iceland Tops Europe's No-Carbon List by Askja Energy on September 23, 2014



図表

Greenhouse gas emissions: Trend and sectoral breakdown in 2000-11



a) Excluding emissions/removals from land use, land-use change and forestry.

b) Includes solvents.

c) Includes emissions from energy use in the following sectors: manufacturing and construction; agriculture, forestry and fisheries; and residential, commercial and institutional.

Source: OECD (2013), *OECD Economic Outlook No. 93* (database); UNFCCC (2013), *Greenhouse Gas Inventory Data* (database).

StatLink  <http://dx.doi.org/10.1787/888933087249>

Emissions of greenhouse gases by sector in Iceland during the period 1990-2010 in Gg CO₂-equivalents.

	1990	2008	2009	2010	Changes '90-	Changes '09-
Energy	1,778	2,072	2,018	1,866	4.9%	-7.5%
- Fuel combustion	1,717	1,884	1,845	1,674	-2.5%	-9.3%
- Geothermal en-	62	188	173	193	212.7	11.5%
Industrial processes	863	1,974	1,798	1,810	109.7	0.7%
Solvent and other prod-	9	7	6	6	-32.2%	-2.6%
Agriculture	703	679	654	646	-8.1%	-1.3%
LULUCF	1,188	794	759	734	-38.2%	-3.3%
Waste	148	226	224	214	44.6%	-4.4%
Total without LULUCF	3,501	4,959	4,700	4,542	29.7%	-3.4%
CO ₂ emissions fulfilling 14/CP.7*		1,163	1,187	1,216		
Total emissions excluding CO ₂ emissions fulfilling 14/CP.7*		3,796	3,513	3,326		

*Decision 14/CP.7 allows Iceland to exclude certain industrial process carbon dioxide emissions from national totals.

Emissions of PFCs 1990-2010 in Gg CO₂-equivalents.

	1990	1995	2000	2005	2007	2008	2009	2010
CF ₄	355	50	108	22	238	295	129	129
C ₂ F ₆	65	9	20	4	43	54	24	24
C ₃ F ₈	-	-	-	-	-	-	-	0.0003
Total	420	59	127	26	281	349	153	153

GHGの変化(1990—2010)

- ①1990年と比較して、エネルギー分野のGHGは、増加、特に地熱部門の増加が顕著。製造業は倍増している。
- ②アイスランド全体のGHGは、350万から454万トンに増加
- ③14/CP.7を顧慮して、350万から332万トンと減少。

2010年のCF₄:123Gg,
C₂F₆:22Gg、計約145Gg
と、95%(145/153)がアル
ミニウム製造業から排出。

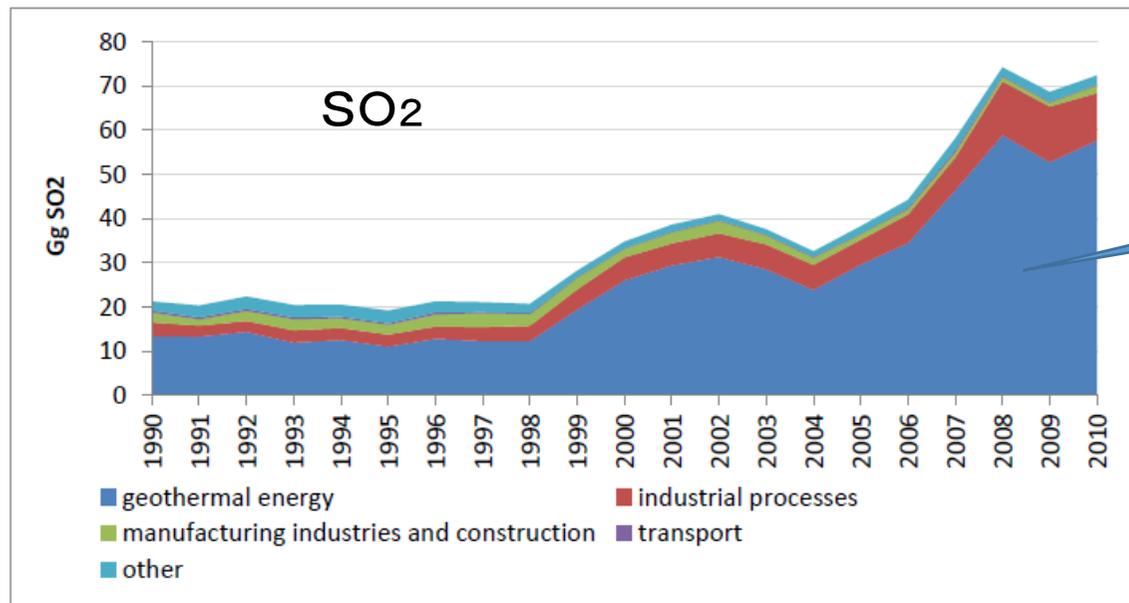
Emissions of greenhouse gases in Iceland from 1990 to 2010
National Inventory Report 2012

Emissions from industrial processes 1990-2010 in CO₂-equivalents.

	1990	1995	2000	2005	2007	2008	2009	2010
Mineral products	52	38	66	56	65	63	30	11
Chemical industry	49	43	19	-	-	-	-	-
Metal production	761	449	831	809	1,352	1,857	1,707	1,725
- Ferroalloys	205	239	358	374	391	340	342	360
- Aluminium	557	210	473	435	961	1,517	1,365	1,365
○ Aluminium CO ₂	137	151	346	409	680	1,168	1,212	1,219
○ Aluminium PFC	420	59	127	26	281	349	153	146
Consumption of HFCs and SF₆	1	2	22	39	55	55	61	74
Total	863	631	938	904	1471	1,974	1,798	1,810
Emissions fulfilling 14/CP.7*						1,163	1,187	1,216

←これも温暖化効果ガス

*Decision 14/CP.7 allows Iceland to exclude certain industrial process carbon dioxide emissions from national totals.



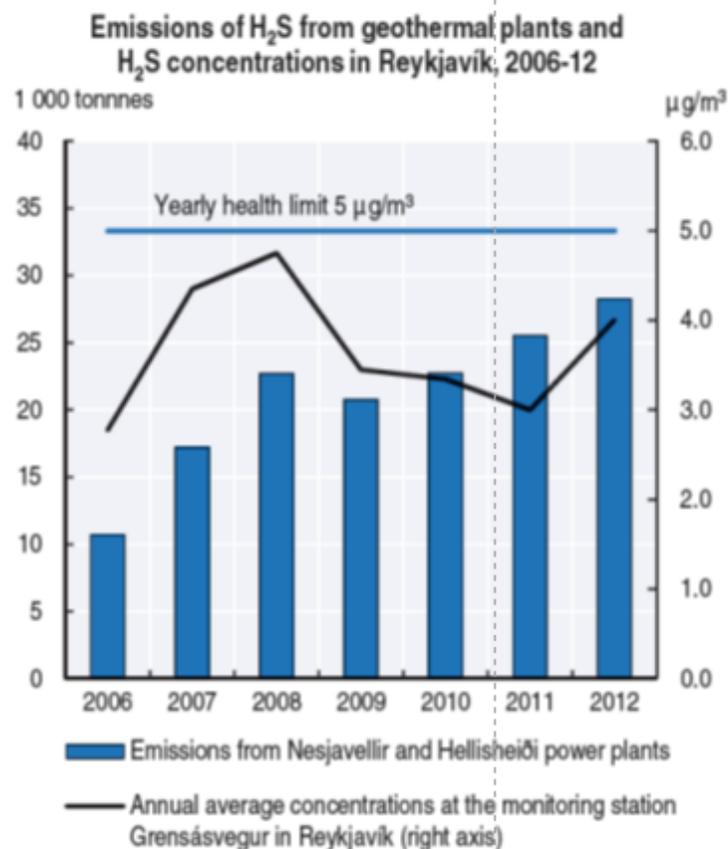
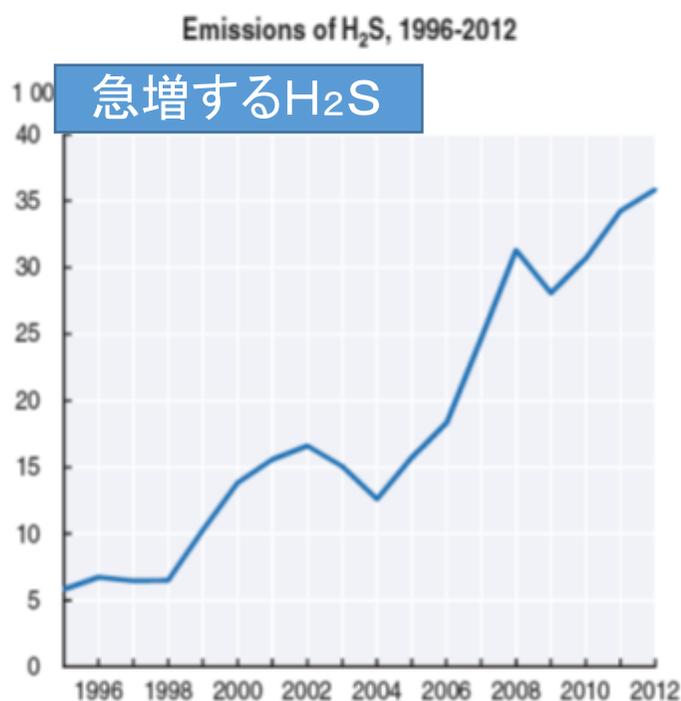
地熱発電から発生

Emissions of S (sulphur) by sector 1990-2010 in Gg SO₂-equivalents.

7. 緑化熱電と種々の汚染物質

卵の腐ったような匂いのH₂S(硫化水素)が、急増している。これは、低濃度で目や呼吸器系に悪影響をを与える。腐食性物質、可燃性、爆発性があり、呼吸器官系に影響を与える。低濃度や中濃度で長期的な暴露の健康リスクは未だわかっていない。2000年と比較して倍以上にの排出量は増加している。首都で基準近くまで濃度が上昇しており、環境コストの内部化など対応が必要。環境コスト、リスクを含めて、公的施設の適正なリターンについても納税者への情報開示を含めた議論、適切な対応を行う必要がある。

Emissions and concentrations of H₂S



Source: Country submission; Orkustofnun (2014), Iceland Energy Portal.

アルミ精錬工場から排出するPFCsp(パーフルオロカーボン類)

環境コストの内部化、リスクを含めて、自然資源の適正なリターンに関して十分な議論や情報開示が必要である。OECD(2013)は、エネルギー多消費産業からのアイスランドへの純便益は、必ずしも最大化されていない。今後の自然資源の拡大開発に際しては、広く、透明性が確保された費用便益分析を行うことであり、環境コストを加えても経済合理性が十分確保される。既に契約された件についても再交渉は、国際的にも決してないわけでない指摘。

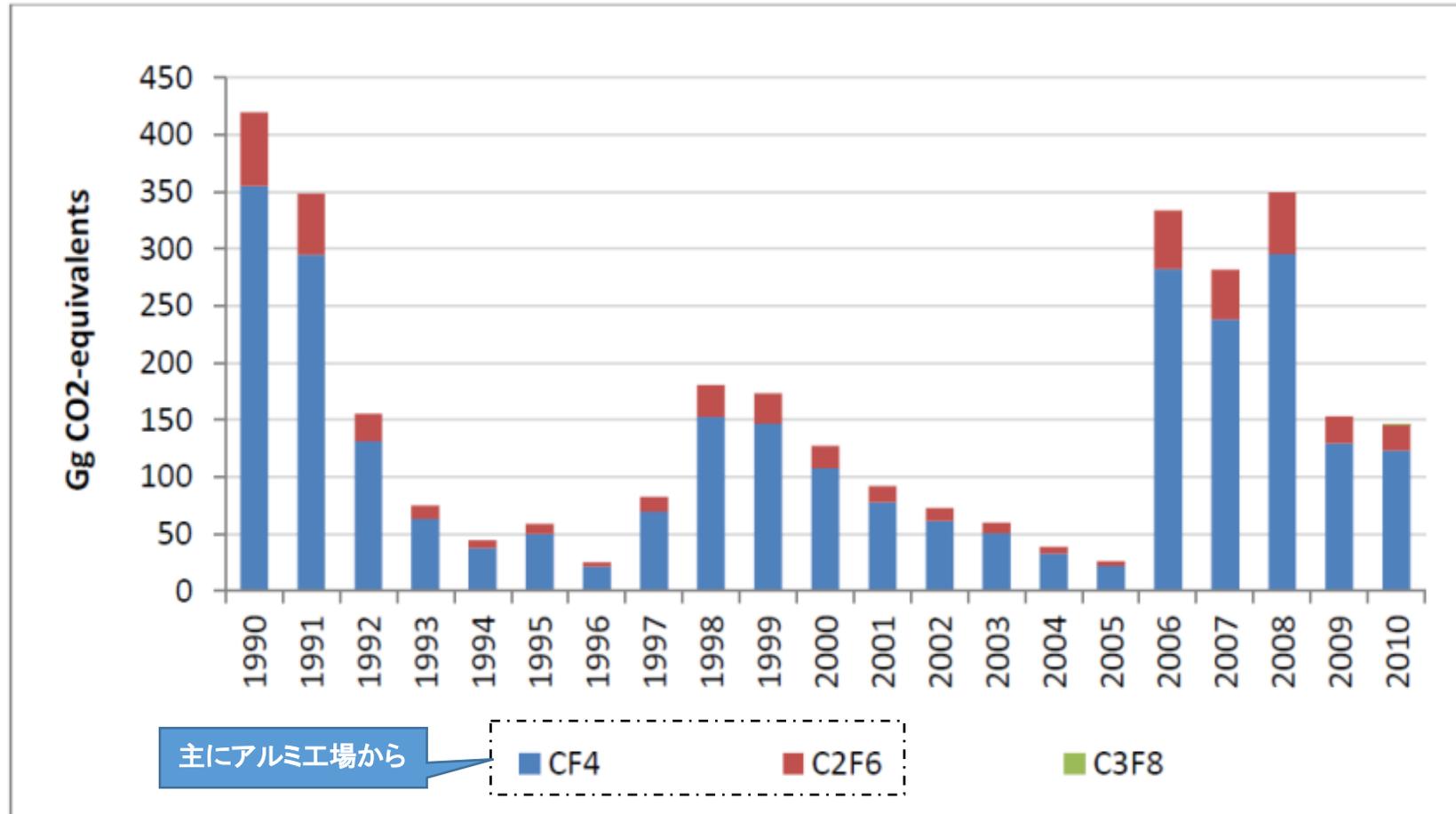
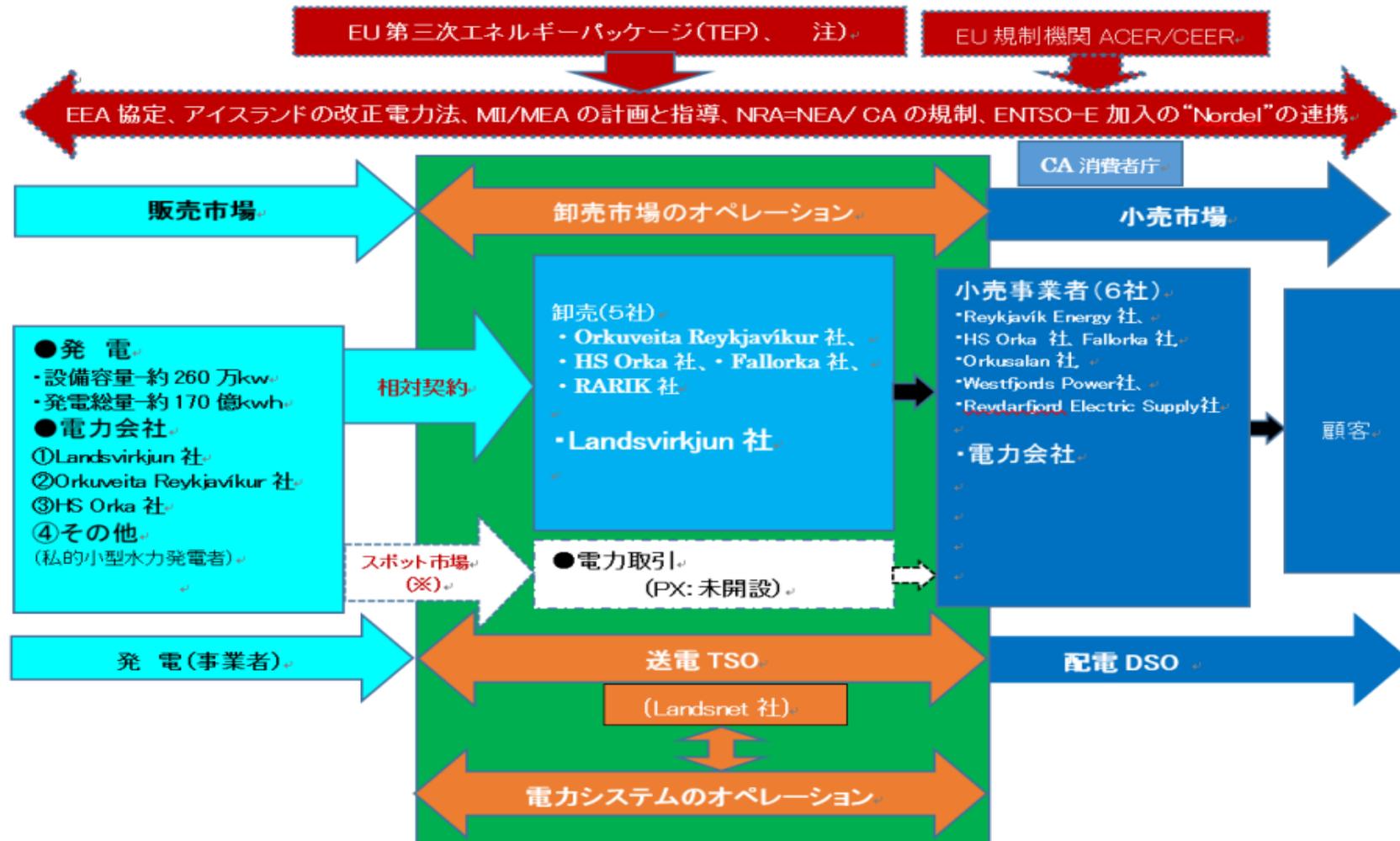


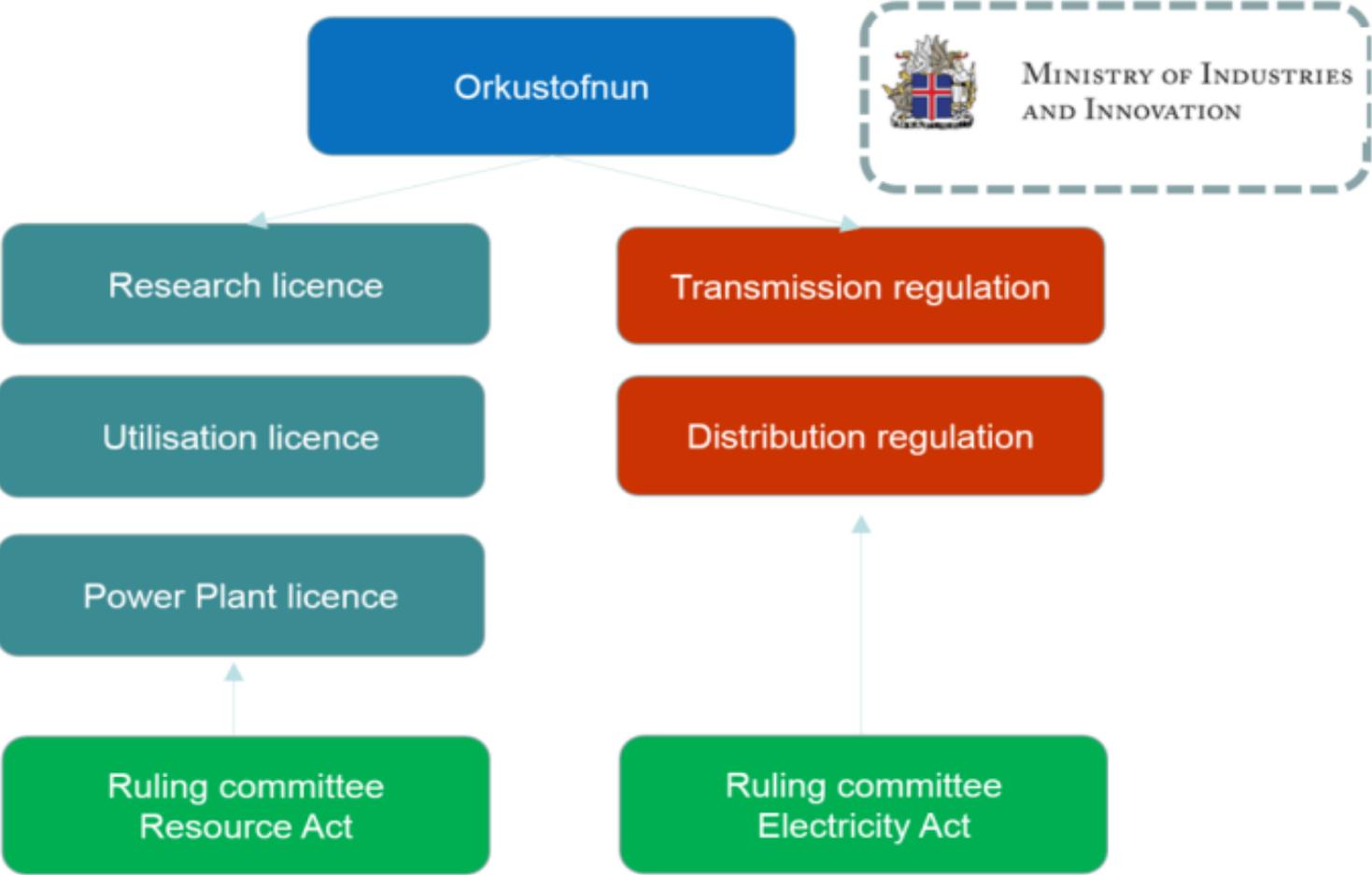
Figure 1.1. Emissions of PFCs from 1990 to 2010, Gg CO2-equivalents.

8. 狭隘な電力市場と電力系統網



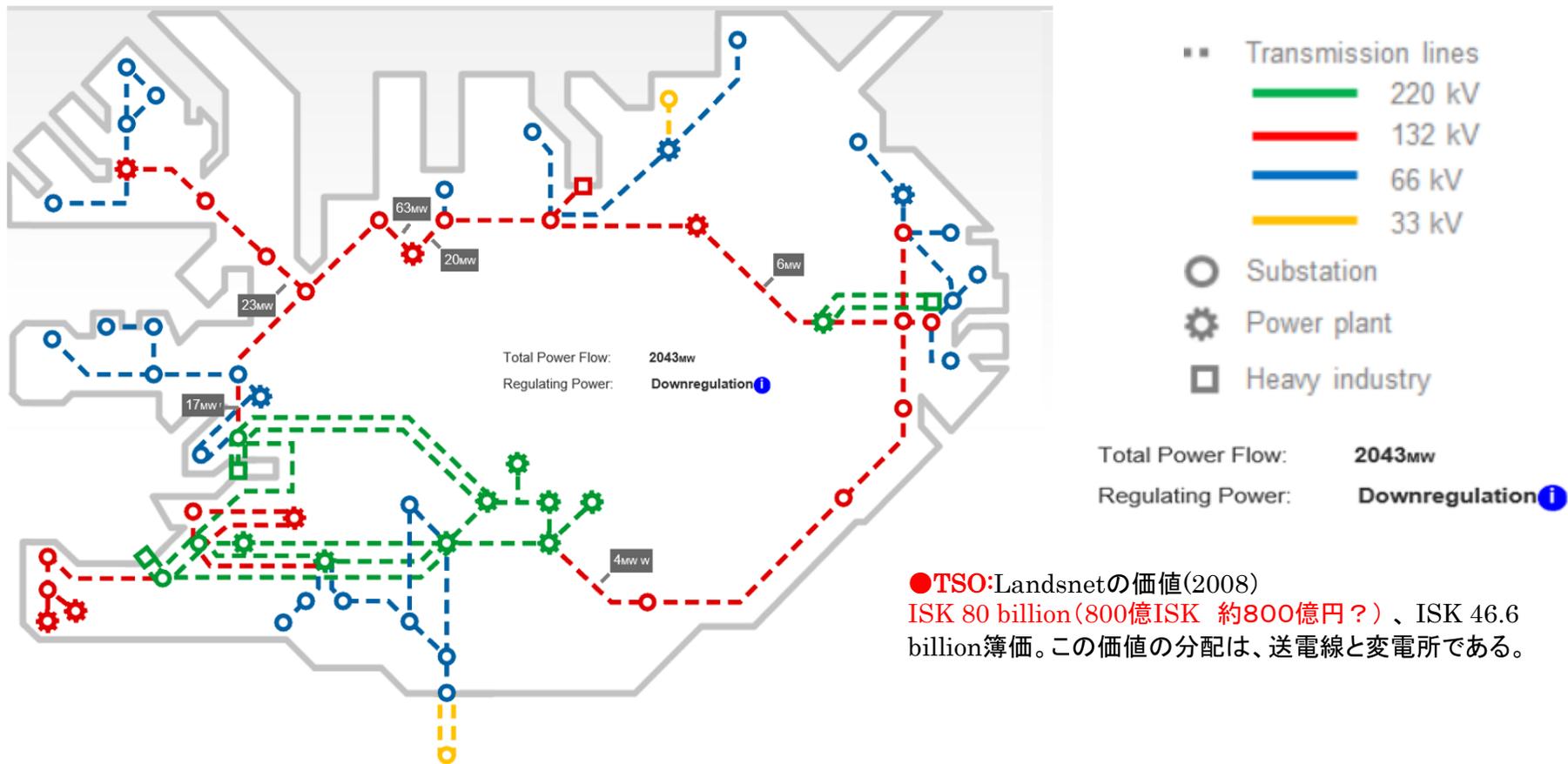
注) Landsnet社:株所有—Landsvirkjun 社(64.73%), RARIK 社(22.51%), Orkuveita Reykjavíkur社 (6.78%) and Orkubú Vestfjarða 社(5.98%)。TSO 委員会当社は発電会社、配電会社、販売会社などの電力会社と独立。送電と電力システム管理運用、PXは2008年の経済危機以降未開設。Unbundling【分離、EU 指令-2009/73/EC】—送電・配電網の運営を発電事業から分離。TEPは2012年施行。資料:アイスランド政府等資料、Feasibility Study of Development Wind Power Projects in Iceland: An Economic Analysis より筆者の加筆・整理・作図(2015)。

エネルギー庁 (NEA) と 2 委員会 — 法的なライセンスと地熱開発の国家政策の担当



出典: Ketilsson et al., Proceedings World Geothermal Congress 2015.

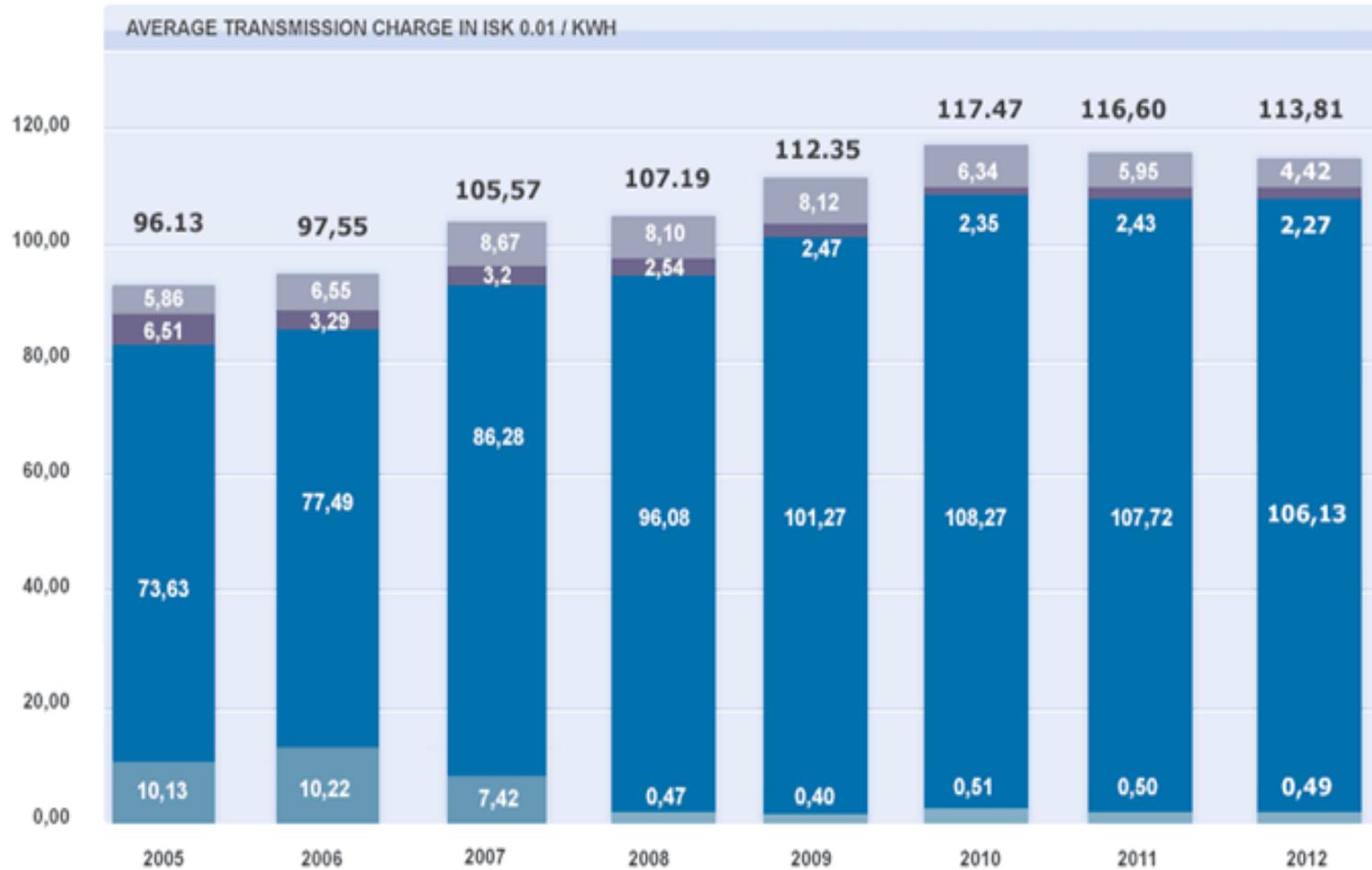
Latest measurement: 2016.03.31 11:35:00



Landsnet のグリッド の特性など	・発電所などとの結合	<ul style="list-style-type: none"> ・発電力7千kw以上の発電所がグリッドの19か所で結合 ・全国の57か所のグリッドから配電 ・全国4か所で多消費産業に結合
	・Gridの電圧構成	<ul style="list-style-type: none"> ・最新の420kvは、現在220kvで運用中。 ・最高電圧は220kvだが、全体は、132kvを主体に運用 ・66kv以上や33kvもあり、全国の主要な変電所を所有

総電力消費の平均的送配電チャージ(縦軸:ISK0.01/kwh)

General consumption



- ・合計
- ・送電ロス
- ・アンシラリーS
- ・配電
- ・発電

■ TRANSMISSION CHARGES (但し、1 ISK=0.88 円換算、1 USD=106 円換算、2016.6)

In-feed:

● Delivery charge	5,176,725 ISK per year	456 万円/年
-------------------	------------------------	----------

Out-feed:

● Distribution system operators:		
Delivery charge	5,176,725 ISK per year	456 万円/年
Capacity charge	5,315,090 ISK/MW per year	468 万円/千kw・年
Energy charge	384,87 ISK per MWh	33900 円/千kwh
● Power intensive users		
Delivery charge	55,395 USD per year	587 万円/年
Capacity charge	32,268 USD/MW per year	342 万円/千kw・年
Energy charge	1,632 USD per MWh	173000 円/千kwh
● Curtailable transmission:		
Energy charge if use time is a minimum of 4,500 hours	418,00 ISK per MWh	368 円/千kwh
Energy charge if use time is less than 4,500 hours	ISK 1,100.00 per MWh*	968 円/千kwh

■ Charge for Ancillary Services and transmission losses

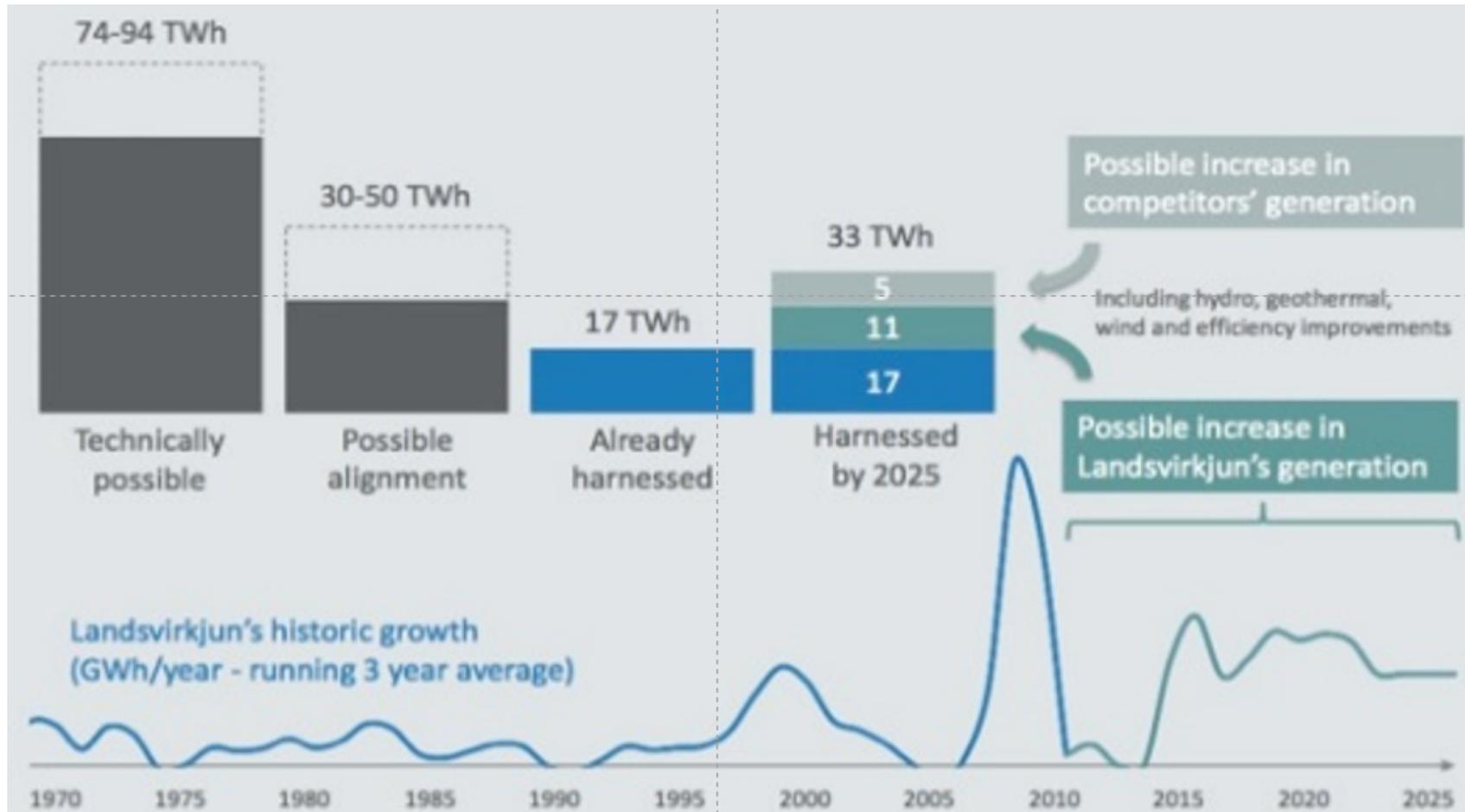
● Ancillary services	47,69 ISK per MWh	41.97 円/千kwh
● Transmission losses	98,41 ISK per MWh	86.60 円/千kwh

図表 アイスランドの平均的な送電チャージ

	2005年:ISK	0.01 × 0.88円	2012年ISK	0.01 × 0.88円
合計	96.13(100.0)	0.846円/kwh	113.81(100.0)	1.00円/kwh
送電ロス	5.86(6.1)	0.051円/kwh	4.42(3.9)	0.04円/kwh
アンセラリーサービス	6.51(6.8)	0.057円/kwh	2.27(2.0)	0.02円/kwh
配電負荷	73.63(76.59)	0.648円/kwh	106.13(93.25)	0.934円/kwh
発電	10.13(10.54)	0.089円/kwh	0.49(. 4.00)	0.004円/kwh

9. アイスランドの再生可能資源と未来可能性

ー 2025年までにアイスランドの電力: 170億から**330億kwh**? ー



Slide from a Landsvirkjun Presentation

© Askja Energy Partners 2012

Next generation grid Submarine cable connection to Europe



調査名:「アイスランドの地熱、外国からの投資、民営化」について

■調査主体:Gallup poll(2009)

■調査実施:Nordic Management Consultancy Firm Capacent

■回答者率:81%

■回答結果(一部)

アイスランドの産業全般に対する外国からの投資について	特に、エネルギー産業に対する外国からの投資	
	エネルギー産業に対する外国からの投資について	エネルギー資源の公正な使用料がアイスランドに支払われることを前提とした場合の外国からの投資
・アイスランドにとって、非常に重要と思う 70%	・反対 50.2% ・賛成 29.3% ・不明 20.5%	・反対 44% ・賛成 56% ・不明 0%

- 自然資源、特にエネルギー産業への外国投資の受入れには不本意のあらわれ。
- 同様の結果は、基幹産業の”水産業”にも表れている。
- 自然の富や資源の配当(広義) は国民が享受できることが重要(⇒ 次のスライド)。

—ノルウェーの事例(自然資源の管理)

- ・発電部門の所有形態
- ・電力グリッドの所有形態
- ・公的コントロール

—ノルウェーの年金基金等の運用

—GPI(Genuine Progress Indicator: 真の進歩指標)

- GPIは、GDPと同じ個人の消費データをベースとし人々が経済的、社会的にどれだけ順調かを測定。
- (例) GPIの測定に使用される項目
所得分配／家事、ボランティア活動、高等教育／犯罪／**汚染**／**長期的な環境破壊**／余暇時間の変化／防御的支出／耐久消費財と公共インフラの寿命／外国資産

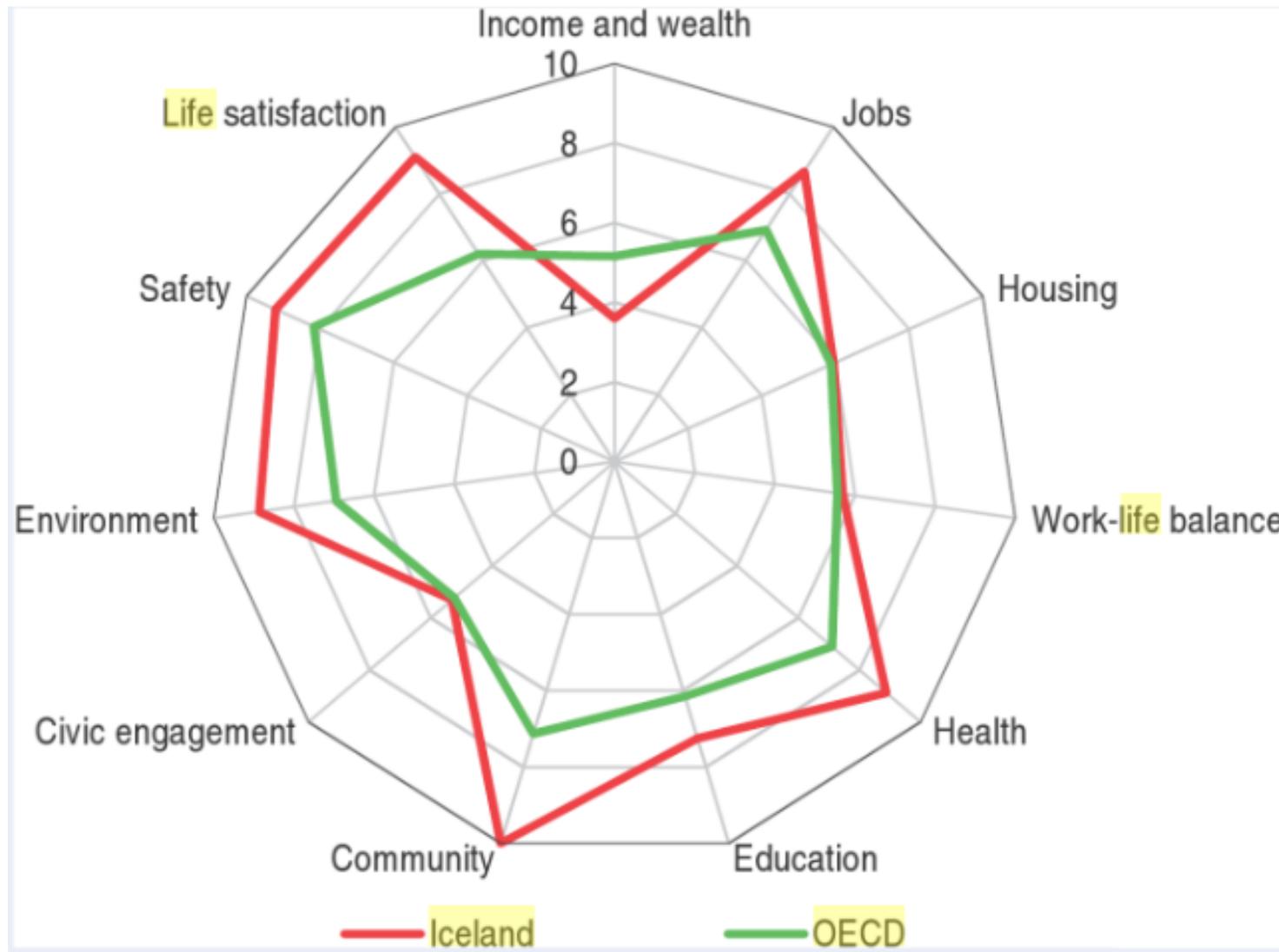
GPIを構成する環境領域に関する7要素

一環境を配慮しない開発の在り方によって、環境インパクトが変化し、GPI値を押し下げる。自然資源のワイズユースが求められるー

自然資本からのサービス（資源、吸収、および生態的機能）の喪失の費用			
S	再生不能資源枯渇の費用	-	El Serafyユーザー・コスト法に基づき算定
T	農地喪失の費用	-	農地喪失による機会費用（農産物生産額）および農地の吸収・生態的機能の喪失による費用
U	木材資源喪失の費用	-	El Serafyユーザー・コスト法を再生可能資源である木材（伐採が樹木の再生を上回る場合）に適用して算出
V	湿地喪失の費用	-	湿地喪失の面積に単位面積当たりの限界社会費用（Costanza, et al. (1987)）を乗じて算出.
W	大気汚染の費用	-	SO _x とNO _x の実際の排出量に排出単位当たりの限界社会費用を乗じて算出（維持的消費支出を含まず）
X	水質汚染の費用	-	BCDとCOD の実際の排出量に排出単位当たりの限界社会費用を乗じて算出（維持的消費支出を含まず）
Y	長期の環境破壊の費用	-	CO ₂ 排出量に排出単位当たりの限界社会費用を乗じて算出 ***

出典：牧野、大橋照枝、中野桂、和田喜彦、「経済・社会・環境統合福祉指標の開発による持続可能性レポート・システムの形成」、兵庫県立大学。

11 “dimensions” of well-being, The OECD’s Better Life Initiative, 2011



OECD, Better Life Index indicators 2014.

■ ”EU憲法条約”からEUのリスボン条約への政策上の変更点 …… ESM

「よりよい生活のための政策」……

ーリスボン条約(2009.11全加盟国批准、12月1日発効)によりEUの政策はすべて雇用や適切な社会保障、社会的排除への対処の促進を考慮にいれていくことが求められる。

ー地球温暖化やエネルギーに関する新しい規定。持続可能な開発および環境保護はこれまでの条約でも優先分野として取り上げられているが、リスボン条約はこれらに対し明確な定義を規定し、環境問題、特に地球温暖化への取り組みを国際レベルで促進することを約束。

ーエネルギーに関する新条項(エネルギー市場の機能、供給の確保、エネルギー効率や省エネルギー、再生可能・新エネルギーの開発など)が、エネルギー政策の全般的な目標として含まれた。

ー更にエネルギー問題について、初めて「**結束の原則**」が導入され、エネルギー供給において深刻な問題が発生した加盟国に、他の加盟国による供給支援が要求される。

10.まとめ

今回、(その1)は、アイスランドの再生可能資源の概要について述べた。研究会での発表・議論等を受けて、今後、更に論議を進める必要があり、またこれらを踏まえて(その2)を報告する予定である。以下に中間的な取りまとめをおこなう。

1. 挑戦と応戦(Challenge-and-Response)にみるアイスランドの応戦—3つの離脱

アイスランドの応戦は、ヨーロッパ最貧国からの離脱、化石燃料消費国家からの離脱の成功につながった。再生可能資源の導入・拡大の効果は大きい。三つ目の“近代からの離脱”は、途上である。アイスランドの再生可能資源の潜在量は膨大であり、その開発は、狭隘な国内市場を考えるならば国際貿易、即ち孤立系統網を国際連系線(IceLink、詳細はその2で扱う)で欧州と連系することである。緑化電力の化石燃料代替効果は大きい、開発・成長拡大に対する議論もある。アイスランドの未来可能性をどのように意味づけるか、議論の深まりが期待されている。

2. 再生可能資源は、伝統的資源で起こった「資源の呪い」や「貧困の罠」とは無縁であった。揺籃的産業であった再生可能資源産業には、その発展過程において、バリューチェーン、サプライチェーンが未確立であることから発生し難いことである。再生可能資源が社会で卓越する時代を迎えた段階については、社会経済的インパクト分析に議論の余地がある。

3. アイスランドで進んでいる再生可能エネルギーの導入・拡大の現実、アイスランド政府等が目指す「モデル社会」を表現している。国内的には国民的関与・関心(public engagement)の十分な醸成とともに、地熱事業の熱電併給にかかる産業等のクラスター結合は、非常に効果的な事業展開を行っている。国外的には、地熱開発の国際的移転性が高くなるように、UNU-GTP制度、Geo thermal ERA NET、「アイスランド、世銀、ノルデック開発ファンド」など国際的な連携、協働的な在り方が促進されている。

4. アイスランドの基幹産業は、再生可能資源産業であり、“再生可能資源国家”、“100%持続可能エネルギー国家”の道を開くものであるが、環境負荷(H₂S、SO₂等)に関して規制措置、環境コストの内部化を行う課題がある。また水産業、アルミ精錬製造業からデータセンター産業、観光業などの産業の多様性が求められている。またエネルギー多消費産業からアイスランド国民への純便益は、必ずしも最大化されていない。多消費産業への未来の発電・電力供給は、透明性等が確保された費用便益の枠組みに基づいて評価すると同時に、電気料金は環境コストの内部化を含め、プロジェクトの長期コストをカバーする事業展開を行うことが重要である。

5. 国家として資源の適正管理が求められて、第17回国連総会において「自然の富と資源の恒久主権」1803決議(1962)が採択された。アイスランドは、特に再生可能資源の導入・拡大過程で発生する富の配当、即ち「よりよい生活」を目指すことを意識している。OECDのwell-being(11分野)、GPI(真の進歩指標)などの社会経済計測ツール等を通じて(広い意味の)配当を議論することは、伝統的福祉社会から“新しい福祉社会”へ移行・転換する上の初期段階として重要である。

以上の研究会の発表(その1:中間的取りまとめ)には、次の諸点も存在する。中間的取りまとめと重なる部分があるが、改めて記述しておくことにする。

(1) 緑化熱電併給の展開

アイスランドで起こっている現実、再生可能資源の大量導入は、原油など伝統的資源が、存在しないことによる必然とか、小国で人口が少ないから、と果たしているのだろうか。その“現実”は、数度の教訓を踏まえた果敢な応戦にあるとみている。眠る持続可能な資源を前にして、当時、石油資源等と比較して、再生可能資源の体系的開発法は不明確で、ましてバリューチェーンは確立していなかった。しかし、アイスランドのユニークなところは、新しい社会を拓く洞察と強い意思と実践力の存在にあったと思える。その再生可能資源は、一つには、地球の熱の活用、二つには地球上で千変万化に変様する太陽資源(水力、風力、バイオマスなど)にある。人類は化石資源を基幹にして地球経済の繁栄を謳歌してきたが、今やそれ自体が、人類を滅亡へと追い込んでいることは、明らかである。再生可能でしかも自然が許容できる資源への切り替えを行い、化石資源への依存から我々を開放する仕様の一つが、アイスランドの現実である。この現実は太陽地球経済(注1)の端緒を開き、「持続可能性革命」(注2)の模範になる要素を持っている。

注1) Hermann Scheerは「ソーラー地球経済」、「エネルギー倫理命法」の著書において体系的に論述
注2)

(2) アイスランドの応戦にみる三つの離脱

アイスランドは、不毛の溶岩台地に幾多の困難を越えて国を築いてきた。3つの離脱がある。貧困からの離脱、化石燃料からの離脱、“近代”的発想からの離脱である。1970年～1980年代は、欧州の最貧国の一つであった。漁業以外の産業は貧弱そのものであった。政府は1990年代から構造改革を行い、アルミ精錬の発展など産業構造は急変した。今や富裕国である。バックには再エネの急成長があり、同時に進んだ化石燃料からの離脱は水素社会宣言に至った。再生可能資源に息を吹き込み、着実な導入は、第1次エネルギー自給率が86%とその全量が再生可能資源であり、電力は、100%再生可能資源由来である。今や世界の再生可能資源のフロントランナーである。徹底した先人の知恵と技術が、政策を支え成功事例となったといえる。

(3) 近代の負の遺産とアイスランド仕様

COP21は、21年と長期にわたる締約国会議である。気候変動は産業革命から始まった近代の負の遺産の一部である。アイスランドは社会実験国と言われる。アイスランドからEUへの電力輸出は、膨大な潜在量の開発に支えられた緑化電力のチャレンジである。既に実験段階を超えた再エネの“アイスランド仕様”は、化石燃料の置換に成功し、年間2千万トン超のCO2国内削減を結論づけた。国際版POC（概念実証）を超えている。国際社会が求める未来を拓く仕様の一つだ。国際連携線IceLink事業（本編<その2>で発表予定）は、EUの電力自由化、エネルギー安全保障、気候変動対策等に寄与する国際的な事業である。小さな国の大きな応戦である。

(4) 太陽地球経済への道

アイスランドの再生可能資源は、本を正せば地球と太陽資源の永続性に根差し、そもそも「太陽は私たちに決して請求書を送らない」資源であり、それが大部分である。“新しい文明”は、この資源を基幹エネルギーに転換することが避けられない。アイスランドは、一時、金融立国を目指し国家破綻の危機に瀕したが、その教訓が国家変容を促し、実体経済に占める再エネの存在をも高めた。安価な緑化熱電は、化石燃料社会の硬直的な連鎖を乗り越えて太陽地球経済を拓く可能性を示し、原発依存の出口に向けた貴重な事例でもある。必ずしも恵まれた条件でフロントランナーの立場を獲得したものではなく、その経験・ノウハウは国連等による地熱発電のエネルギー協定等に結実している。今後、島しょ国、途上国への導入支援やIRENA(国際再生可能エネルギー機関)との連携強化が求められている。

(5) アイスランドのモデル社会と移転可能性

アイスランドは、男女平等度が連続7年世界第1位、国連世界幸福指数2位など上位が少なくない。「RIO+20」の意義を踏まえた「アイスランドの持続可能な繁栄」の3本柱と、これに基づき提唱する「モデル社会」は、豊かな社会変容を目指し着実な実証を示そうとしている”応戦”である。また幸福指数(例：GPI)の経済要因を支える再生可能資源の役割は小さくはないが、再生可能資源の大規模利用自体が到達点ではない。到達点は、“近代の重荷”を削りおとす糸口にあり、新しい地平(パラダイム)を開くことにある。同時に地球上の“悲惨”に応戦する国連の新たなアジェンダSDGsの展望に重ねるものである。その意味でもアイスランドの提唱する先導的な「モデル社会」の意義は大きい。

(6)アイスランドの現実は、これからの世界にとっての“現実”になるか

世界を震撼させた史上最悪クラスの東京電力原発過酷事故は、終始、脳裏から離れない。その事故サイトに白作業衣で3度訪れた。悲惨の一言である。日本のみならず世界中に放射能物質のチリは拡散し、過去2千回を超える核実験のチリに混在することになった。事故炉の処理・処分は深刻な課題を突きつけている。「エネルギー基本計画2014」(閣議決定)には、「原発依存度を可能な限り低減する。ここがエネルギー政策を再構築するための出発点である」(P4)と断定している。原発はできるだけ早く削減しゼロにすべきである。参考にすべき対案の一つは、“アイスランド仕様”である。総論的には既にPOC (proof of concept) の段階を超えて、プロトタイプであると言ってよい。人類の英知を結集して当地で進むこの“現実”を地球大に普及することは、十分意義のある行動である。多様なリスクの海に翻弄される人類は自己破滅を願っているのではなく、持続可能な地球社会ためにアイスランドの”現実”を不可逆的に受け入れて、新しいパラダイムへの橋渡しとしなければならない。

(文責:加藤修一)

■参考文献

- OECD,IEA,IRENA,アイスランド国営電力会社、Landsnetなどの資料
- アイスランド政府、政府関係機関等の統計・資料
- Baldur Petursson, [2015] Renewable Energy Source in Iceland
- Pavos Trichakis,Vladimir Parail and Ilesh Parel, [2013] Impacts of further Electricity Interconnection on Great Britain; Redpoint Energy for the DECC
- British think tank Policy Exchange, [2014] Getting Interconnected-How can Interconnectors compete to help lower bills and cut carbon? PE.
- McKinsey Scandinavia, [2012], Charting a Growth Path for Iceland, pp.70-74