

『温熱エネルギー革命を起こした国』 デンマーク視察ツアー



日程

2019年
9月8日(日)～
9月13日(金)

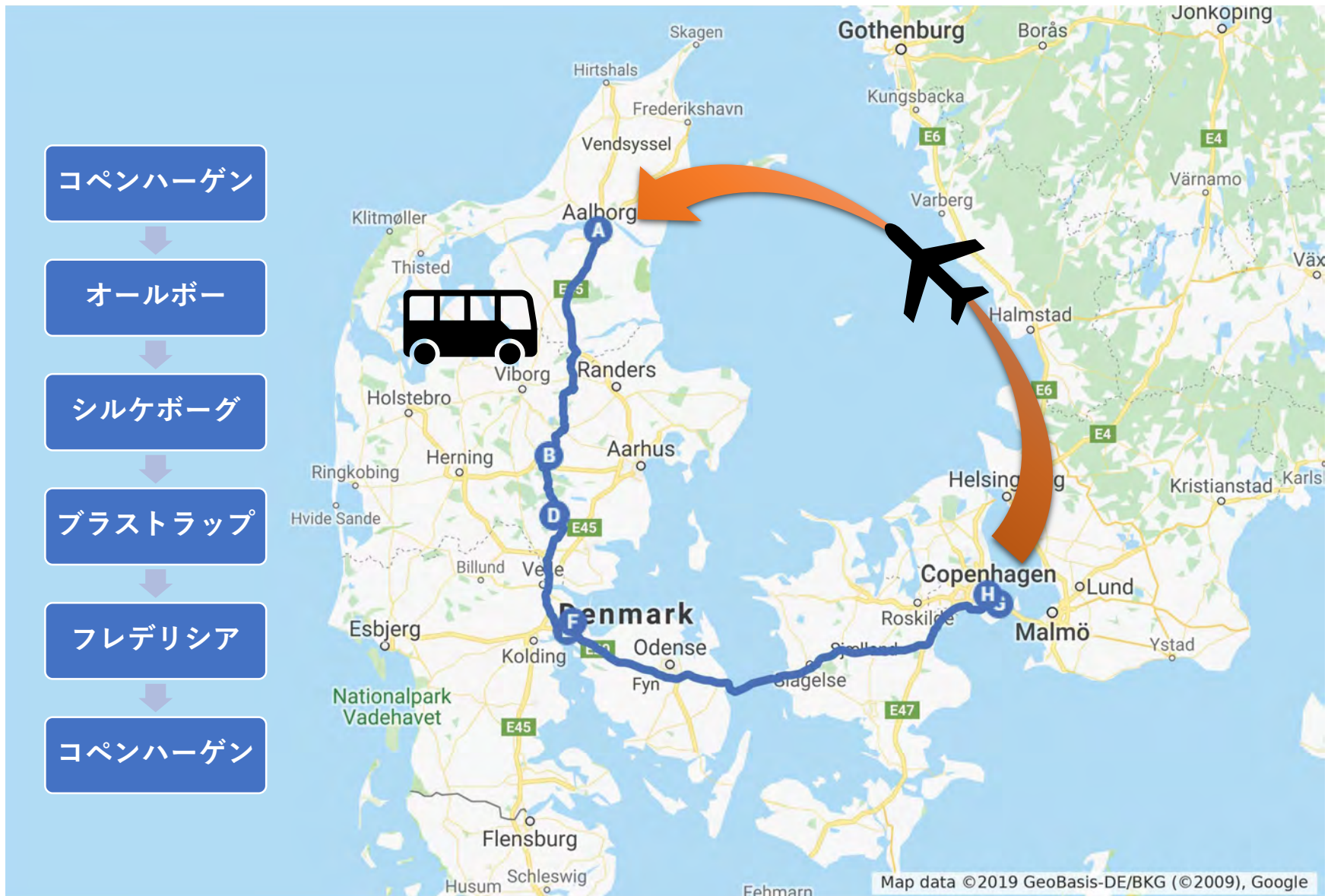
訪問

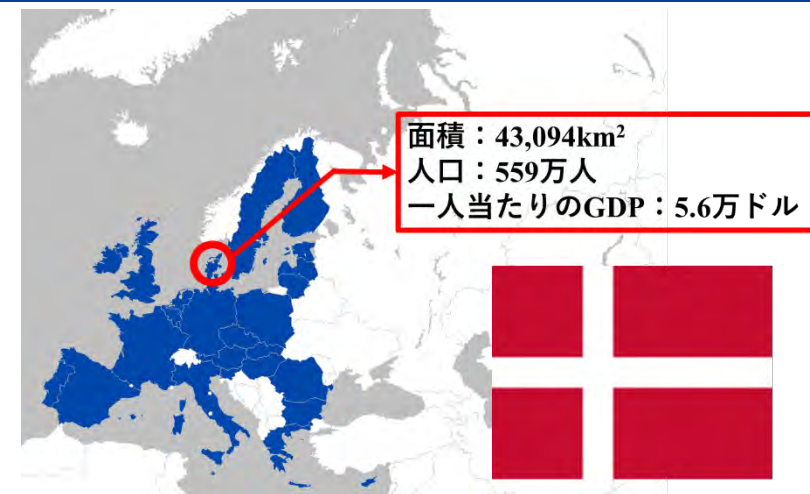
コペンハーゲン、オールボー
(デンマーク)

2019年11月20日(水)
第5回4DH研究会
新宿歴史博物館 講堂

田島誠
特任研究員
環境エネルギー政策研究所

- **期 間**：2019年9月8日（日）～9月13日（金）＜ 6 日間＞
※現地集合・現地解散
- **訪問都市**：コペンハーゲン・オールボー・フレデリシアなど
- **参加者**：企業、大学・研究機関、コンサルタント、NPO
- **団長**：中田俊彦氏（東北大学教授／4DHフォーラム座長）
- **ツアーの見所**
 - a. 第5回第4世代地域熱供給国際会議 参加
 - b. 地域熱供給の最前線の実践 視察
 - ・ デンマークの地域熱供給の歴史と制度
 - ・ 再生可能エネルギー産業クラスターの生い立ちと現状
 - ・ 第4世代地域熱供給プラント
 - ・ 大規模地域熱供給プラント
 - ・ 大規模太陽熱地域熱供給
 - ・ 大規模季節間蓄熱技術
 - ・ 地域の熱計画プランニング
 - ・ 最先端のエネルギー管理システム
- **企画**：認定NPO法人 環境エネルギー政策研究所
- **協力**：デンマーク王国大使館
- **旅行企画・実施**：株式会社 サンワールドツアーズ





10年に及ぶ国民的議論

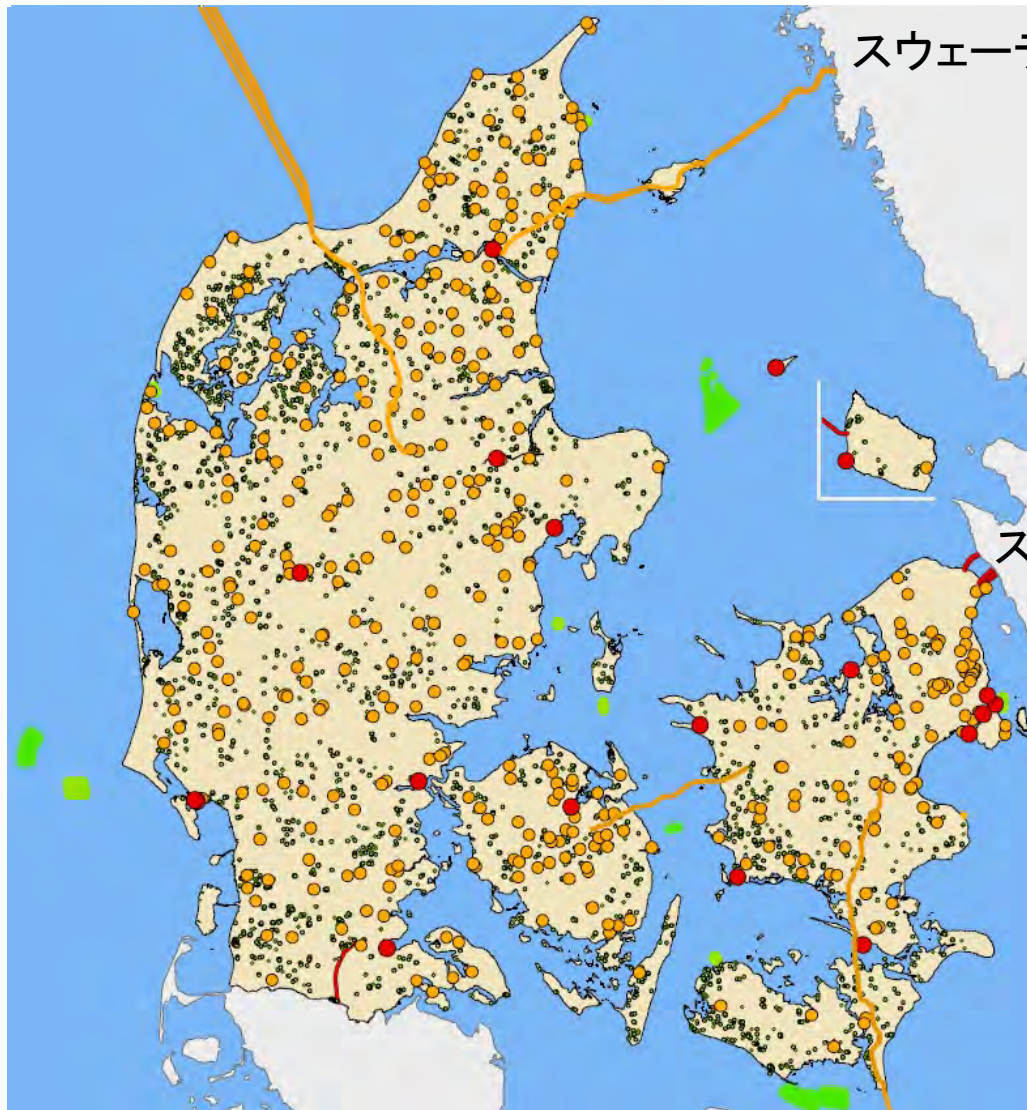
1973	オイルショック
	輸入化石燃料既存率>90% → 原発導入検討
1976	「デンマークエネルギー計画」 原発5基導入提案
1976	「電力供給法」 熱電併給を義務化
1979	スリーマイルアイランド原発事故／第2次オイルショック
	「熱供給法」
1985	「原子力発電に依存しない公共エネルギー計画」
1986	チェルノブイリ原発事故
1993	「風車法 (REFIT)」
2011	福島第一原発事故
	「エネルギー戦略2050」 化石燃料ゼロ目標

ノルウェー

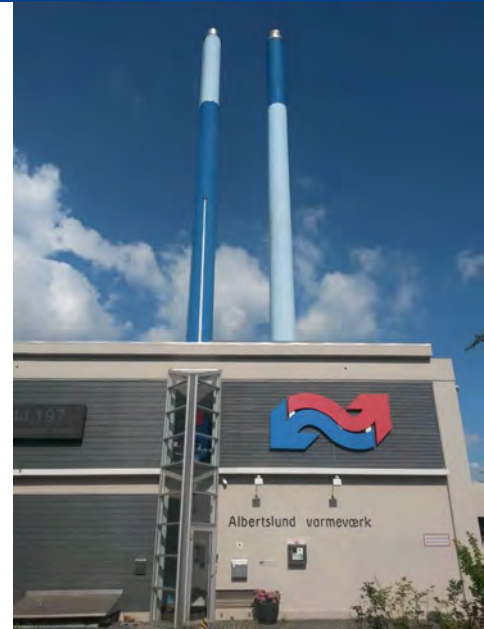
スウェーデン

2013

スウェーデン



- 集中型コージェネレーション
- 地域コージェネレーション
- 風力
- 洋上風力
- 交流相互接続
- 直流相互接続



第4世代地域熱供給

The 4th generation district heating (4DH)
アルバーツルンド (Albertslund) 地域熱供給

アルバーツルンド(Albertslund)地域熱供給

- 60~70年代に計画的に作られたコペンハーゲン市の西部郊外に位置する人口28,000人の街。1964年から地域熱供給（97%カバー率）
- コペンハーゲンの開発計画（Fingerplan）の一部



- ✓ 次の10年で5,000戸の老朽賃貸住宅を更新する必要あり
- ✓ 「地域熱供給アクションプラン2018-2025」の実施（13項目）
 - 断熱性能・機密性家屋と第4世代地域熱供給の導入
 - 380kmの熱導管パイプの更新（14,000ユーザー）など



バックアップ・
ピークボイラー
を所有

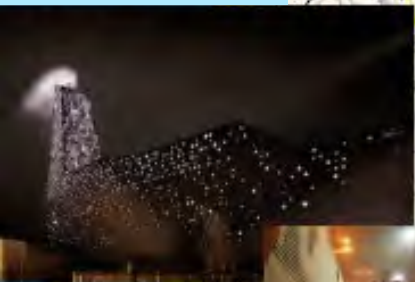


ゴミ焼却炉

バイオマスCHP + 燃焼



廃棄物CHP



地域熱供給網からの温水



【2階】 広表面積ヒラジエター
地域熱供給網から57°Cの温水供給



【1階】 新式の簡易床暖房
35°Cに冷えた水が1階に回る

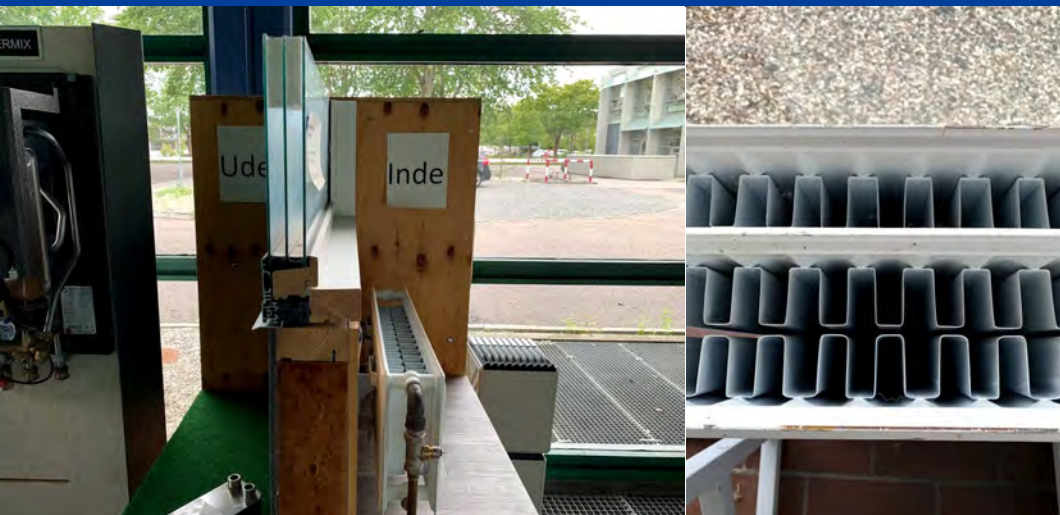


【窓】 受動的太陽熱暖房
比較的早く暖まる



地域熱供給網への戻り水





広面積LTラジエーター (Huge-surface LT-radiator)

- 同じ壁面スペースで高効率
- 三重窓で高気密・断熱化



高効率・高性能で低ロスな熱導管

- 低熱ロス
- 低工事コスト
- 遠隔漏水監視



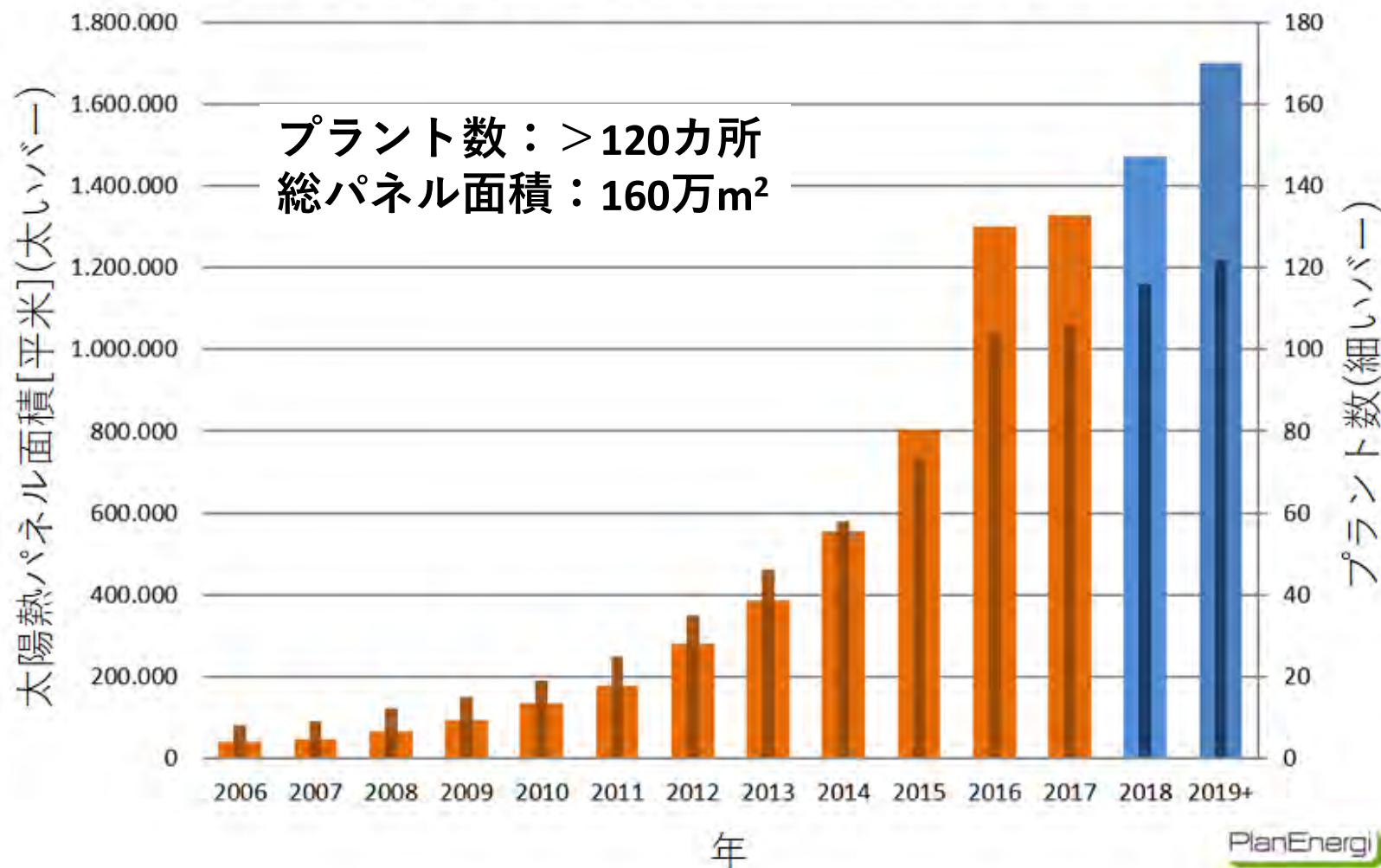
スマート熱量計

- 超音波式
- 無線記録

太陽熱地域熱供給

Solar District Heating (SDH)

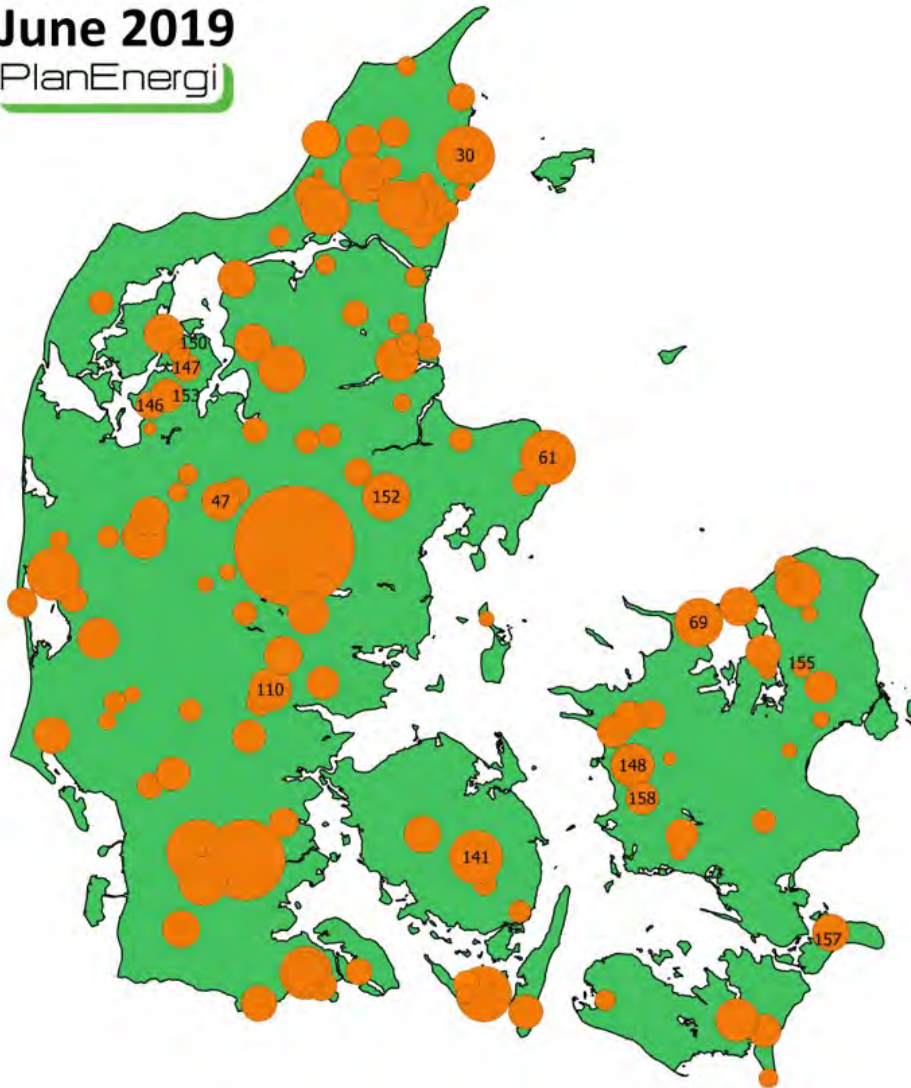
2017年までは運転実績、2018年以降は運転開始予定のプラント



出所：<http://planenergi.eu/activities/district-heating/solar-district-heating/1-gw-sdh-in-dk/>

1 GWを達成したSDH (2019年)

June 2019
PlanEnergi



New plants & expansions in operation

#	Plant	Collector area (m2)
30	Sæby	(11921)+25313
47	Karup	(8000)+8127
61	Grenaa	(12096)+20673
69	Nykøbing Sjælland	(20084)+4914
110	Jelling	(15290)+4835
141	Ringø	31224
146	Remsing-Lem-Lihme	8537
147	Roslev	8455
148	Høng	20160
150	Durup	5040
152	Hadsten	24517
153	Balling-Rødding	12020
155	Egedal	3458
157	Lendemarke	2304
158	Halskov	11733

- ドイツ、オーストリアにも拡大
- SDHp2m (Solar District Heating from policy to market)：8カ国9の地域で市場拡大プロジェクト (2016年～)

 In operation

Total collector area (in operation): 1 581 716 m²



Map of Denmark with the location of Brædstrup, Marstal, Dronninglund and Gram.

Dronninglund (2005年)

- 37,573 m² 太陽熱パネル
- 62,000 m³ ピット式蓄熱池

Silkeborg (2016年)

- 世界最大の太陽熱収集プラント
- 156,000 m² (12,435枚) パネル

Brædstrup (2007年)

- 37,200 m² 太陽熱パネル
- 48 ボアホール

Gram (2009年)

- 44,800 m² 太陽熱パネル
- 鋼鉄製タンク・季節間蓄熱:
122,000 m³

Marstal (2003年)

- 33,300 m² 太陽熱パネル
- 75,000 m³ ピット型蓄熱池

出所: PlanEnergi資料

	名称	面積 [m ²]	出力 [MW]	蓄熱槽 [m ³]	ユーザー 数	特徴
1	Silkeborg シルケボーグ	156,694	110	32,000	21,000	世界最大規模
2	Dronninglund ドロニングルンド	37,573	26	60,000	1,350	ピット式 季節間蓄熱
3	Brønderslev ブレンスレブ	26,929	17	8,000	4,700	集光型太陽熱 (CSP), ORC
4	Brædstrup ブラストラップ	18,612	13	26,500	1,500	ボアホール式 季節間蓄熱

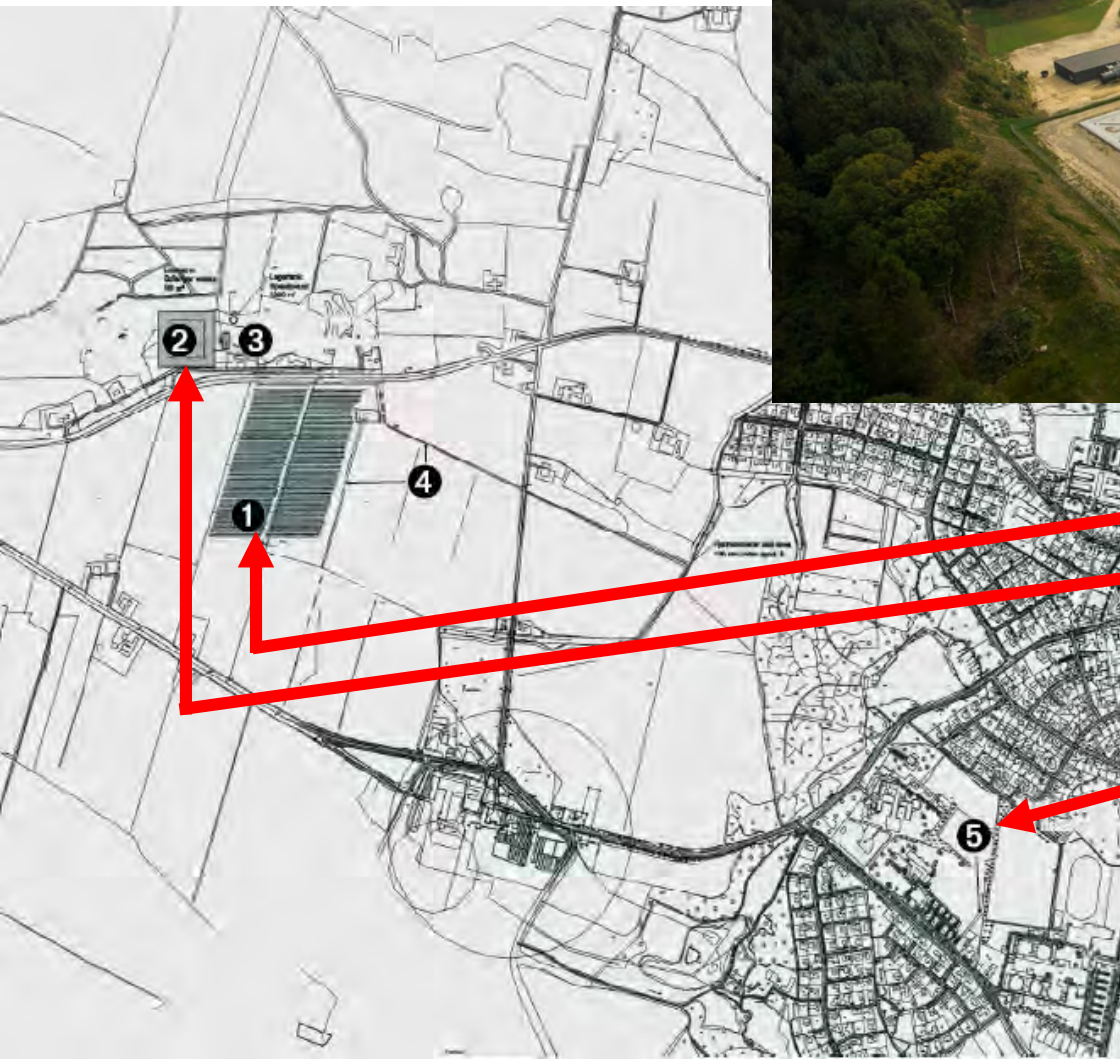
世界最大のSDH

設備容量：110MWth
パネル面積：15.7万m²



出所：<https://www.solarthermalworld.org/installation/silkeborgs-solar-district-heating-cover-20-heating-demand>

ドロニングルンド(Dronninglund)地域熱供給

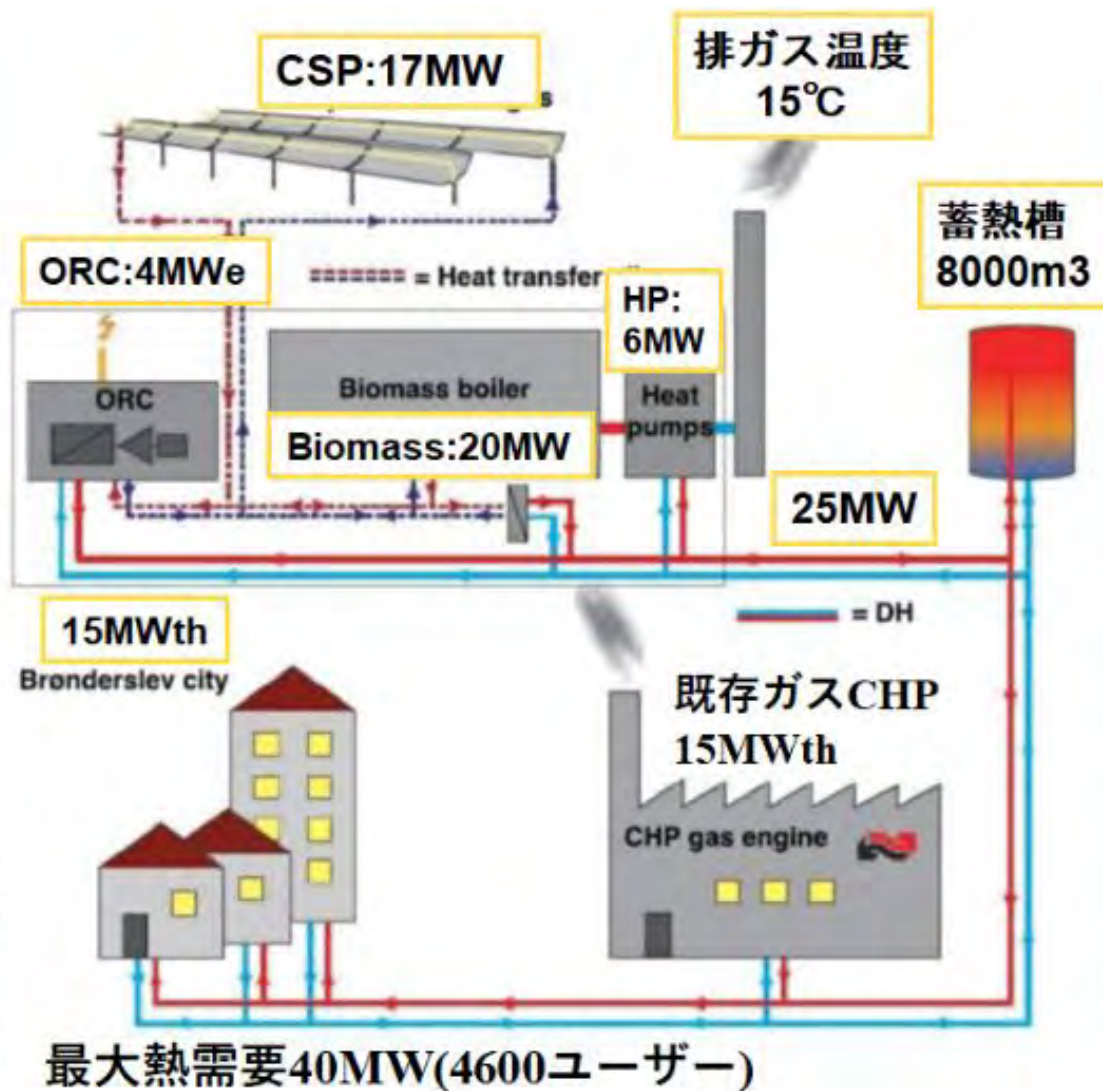
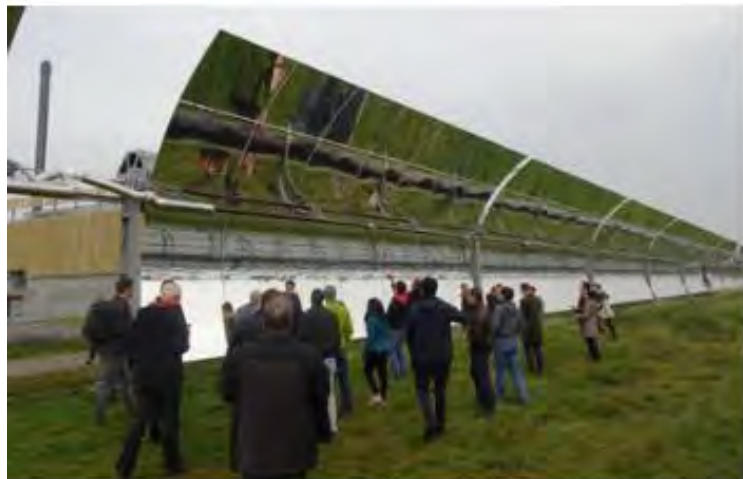


- ① 太陽熱収集パネル
- ② ピット式蓄熱池
- ③ 管理棟・機械室
- ④ 熱導管
- ⑤ 吸収式HP(バイオオイル)



パネル面積	18,600 m ²
ボアホール式蓄熱槽	19,000 m ³ (土壌) ≈ 8,000 m ³ (水換算)
顧客数	1,438 ユーザー
熱導管ネットワーク	27.9 km

集光型太陽熱(CSP)・バイオマスCHP・OCR・潜熱回収

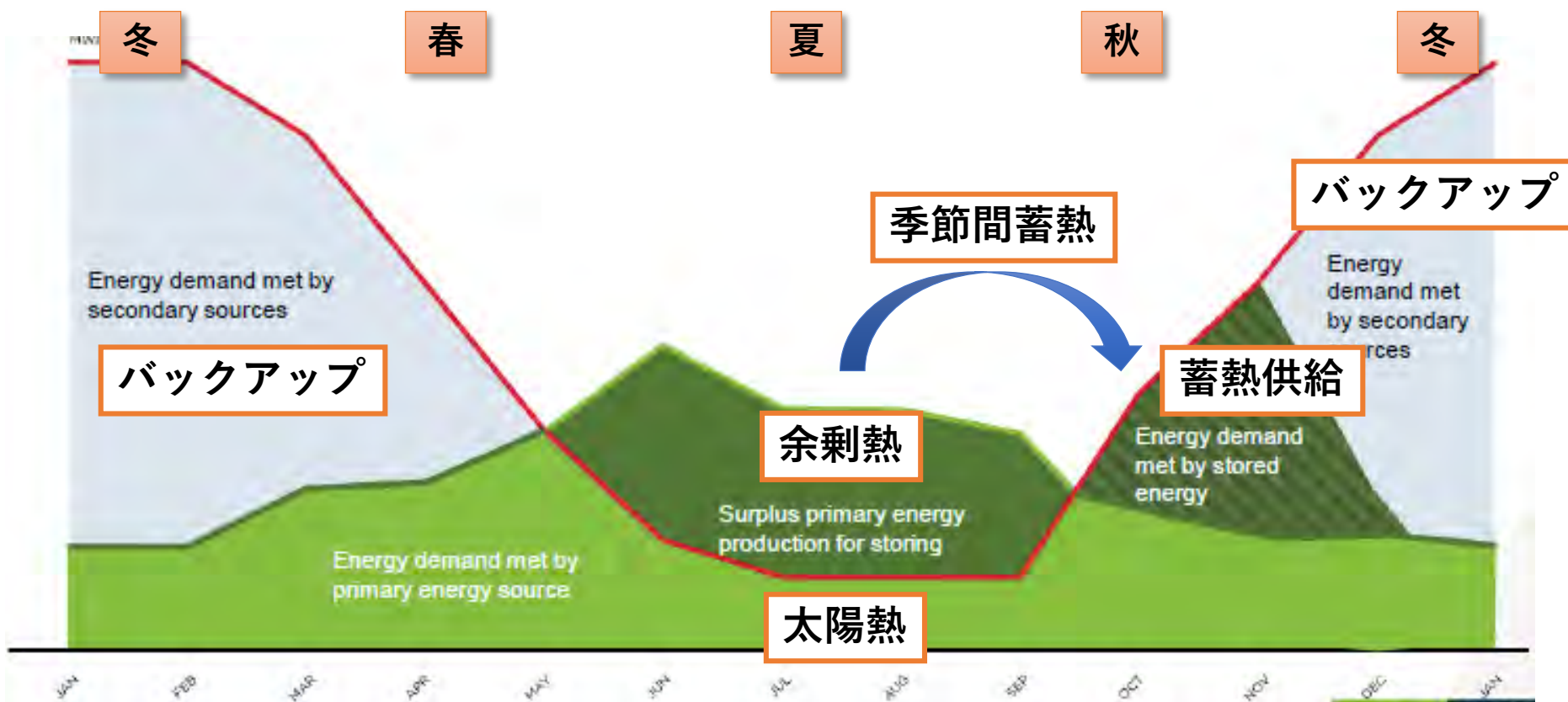


季節間蓄熱

Pit thermal energy storage (PTES)

Borehole thermal energy storage (BTES)

太陽熱からの夏季の余剰熱を蓄熱し、秋季以降に利用する。



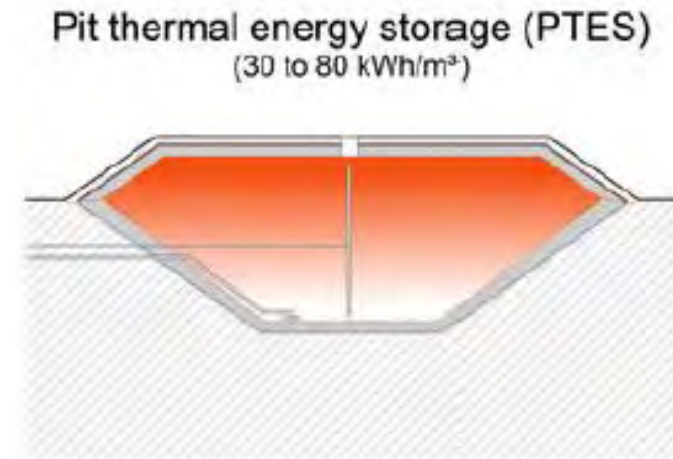
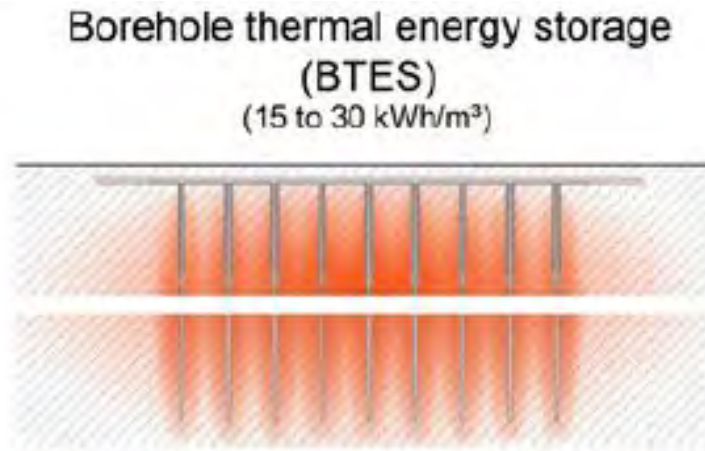
出所: ARCON-SUNMARK社資料に加筆

■ デンマークの地域熱供給における蓄熱技術

- バッファー蓄熱槽(数千 m^3)：短期間、ピーク需要対応
- 長期間・季節間蓄熱(数万 m^3)：太陽熱、排熱利用

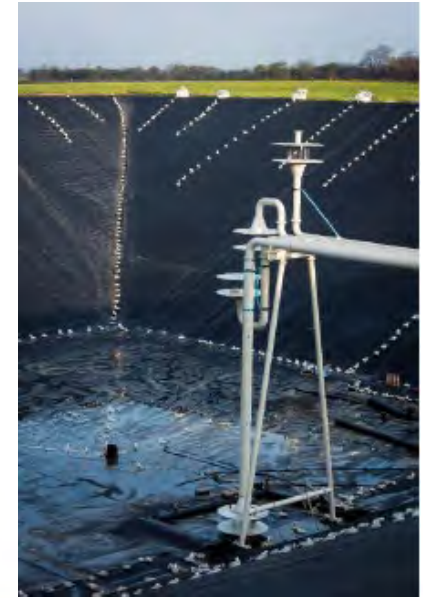
■ 季節間蓄熱の種類

- ボアホール型：Borehole Thermal Energy Storage (BTES)
- ピット型：Pit Thermal Energy Storage (PTES)

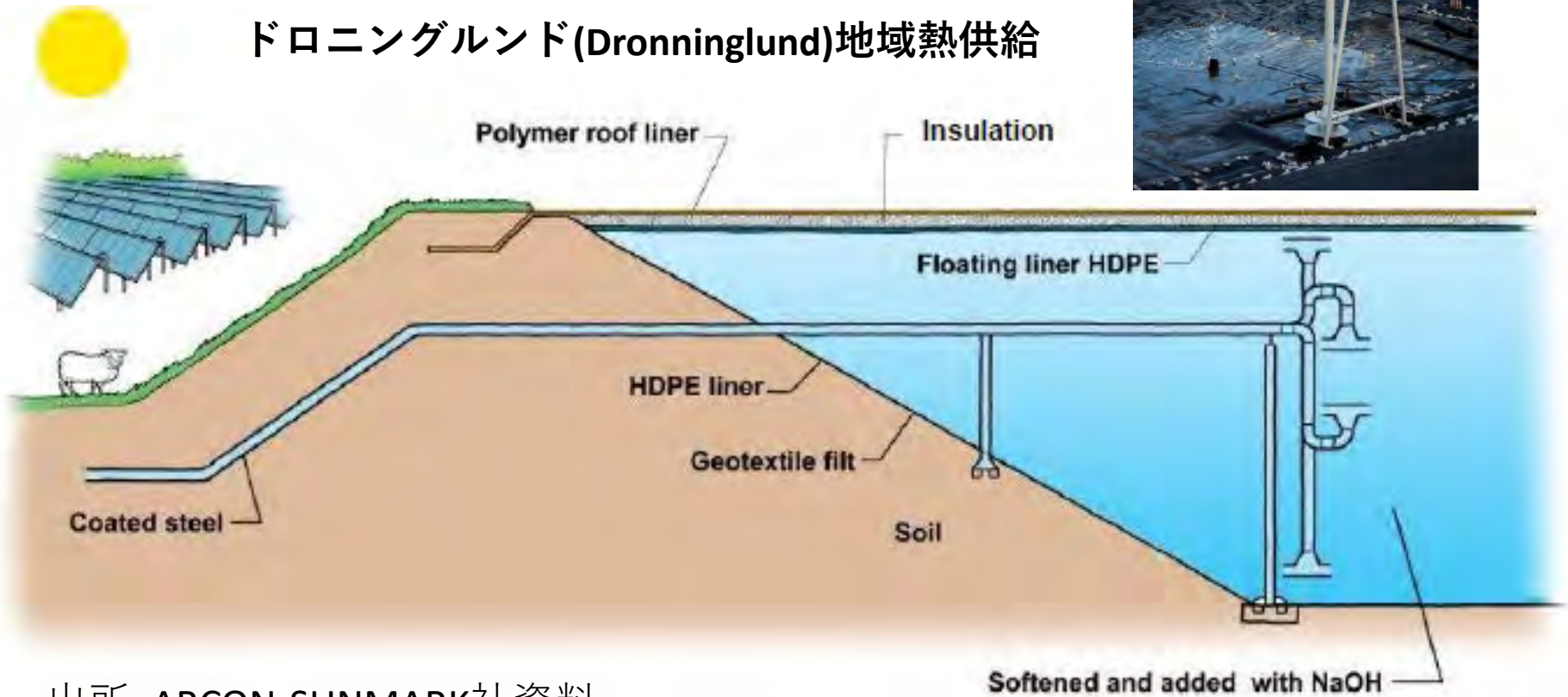


出所：“Design and Construction of Large Scale Heat Storages for District Heating in Denmark” PlanEnergi (2018)

大規模ピット式蓄熱槽(PTES)の構造



ドロニングランド(Dronninglund)地域熱供給

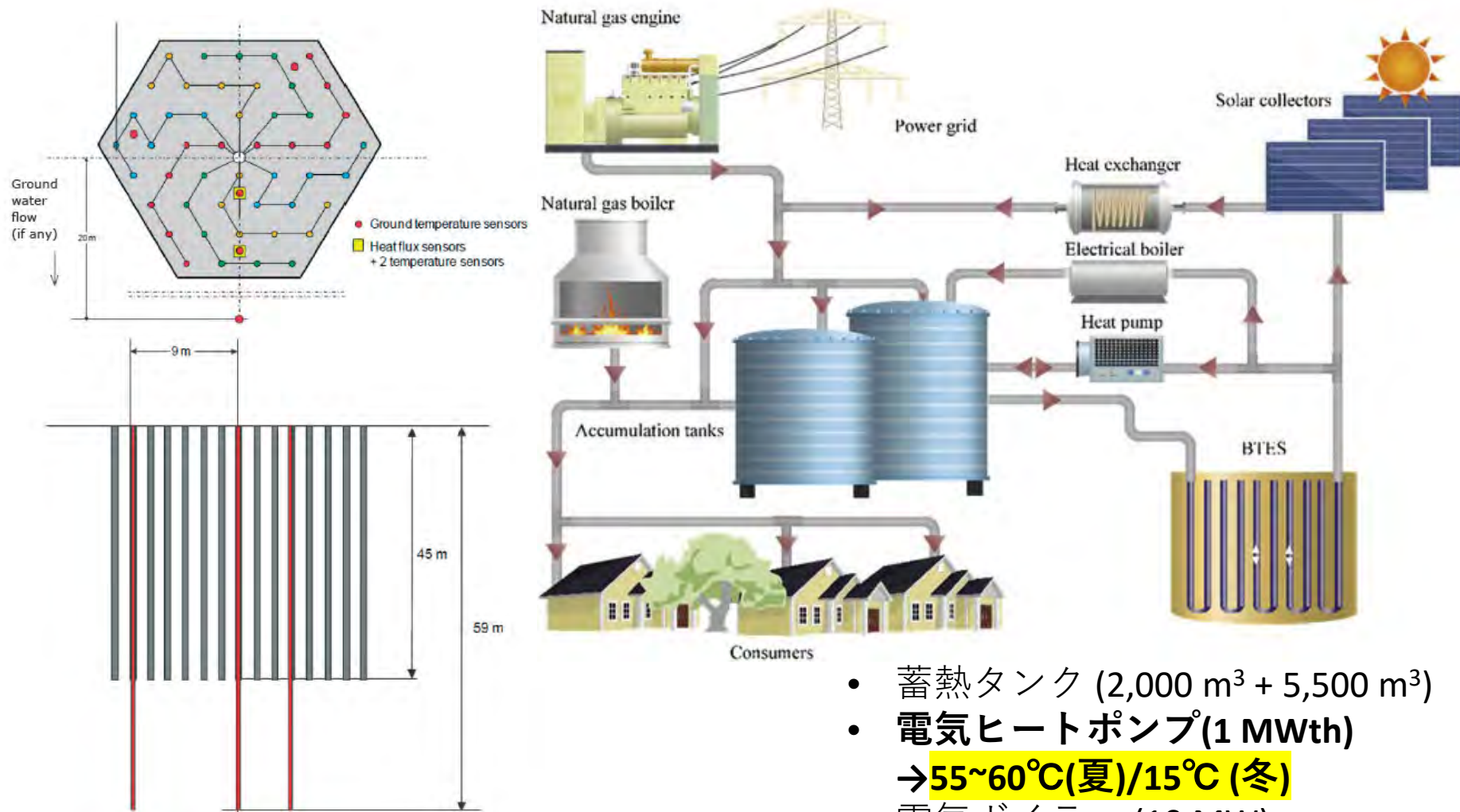


出所: ARCON-SUNMARK社資料



大規模ボアホール式 (BTES) 蓄熱槽

ブラストラップ(Brædstrup)太陽熱地域熱供給



出所: Tordrup, K. W., Poulsen, S. E., & Bjørn, H. (2017). An improved method for upscaling borehole thermal energy storage using inverse finite element modelling. *Renewable energy*, 105, 13-21.

- 蓄熱タンク (2,000 m³ + 5,500 m³)
- 電気ヒートポンプ(1 MWth)
→ 55~60°C(夏)/15°C(冬)
- 電気ボイラー (10 MW)
- 天然ガスCHP
- 天然ガスボイラー

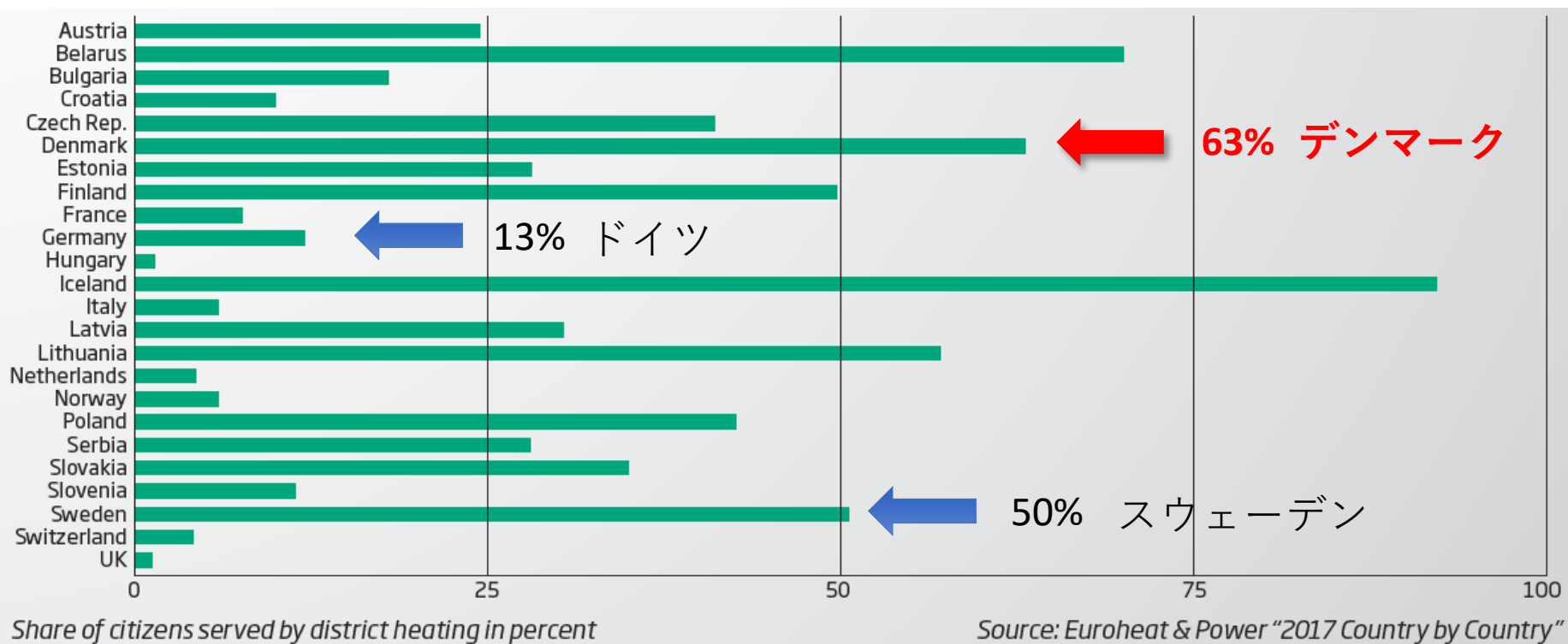
政策・計画・管理

地域熱供給はどうやって発展したのか？

- 地域の熱計画プランニング
- 最先端のエネルギー管理システム

- 人口あたりで最も地域熱供給の普及率が高いアイスランド(90%以上)
- デンマークは60%以上で、ベラルーシ(70%以上)に次ぐ普及率**

地域熱供給の普及率(人口あたり)2015年



出所：State of Green 「デンマーク地域熱供給白書」

法制度

1976	電力供給法（CHP, 高い費用対効果）
1979	熱供給法・自然エネルギー源 (RES)・廃棄物熱利用 (WtH)
1986	分散型CHP
1990, 1993, 2008	バイオマス利用促進（新規CHP・既存のCHPの転換）

刺激政策 (インセンティブ)

1981	バイオマス地域熱供給・CHPへの投資助成金
1984, 1992	CHP助成金
1991	高額なCO2税・化石燃料税
1994	バイオマス・天然ガスの地域熱供給への資金支援

明確なビジネスモデル

●非営利 ●長期的展望 ●自治体によるローン保証

組織

法制度

地域・国家計画

国家 計画

基幹技術 = グリーン燃料 + CHP

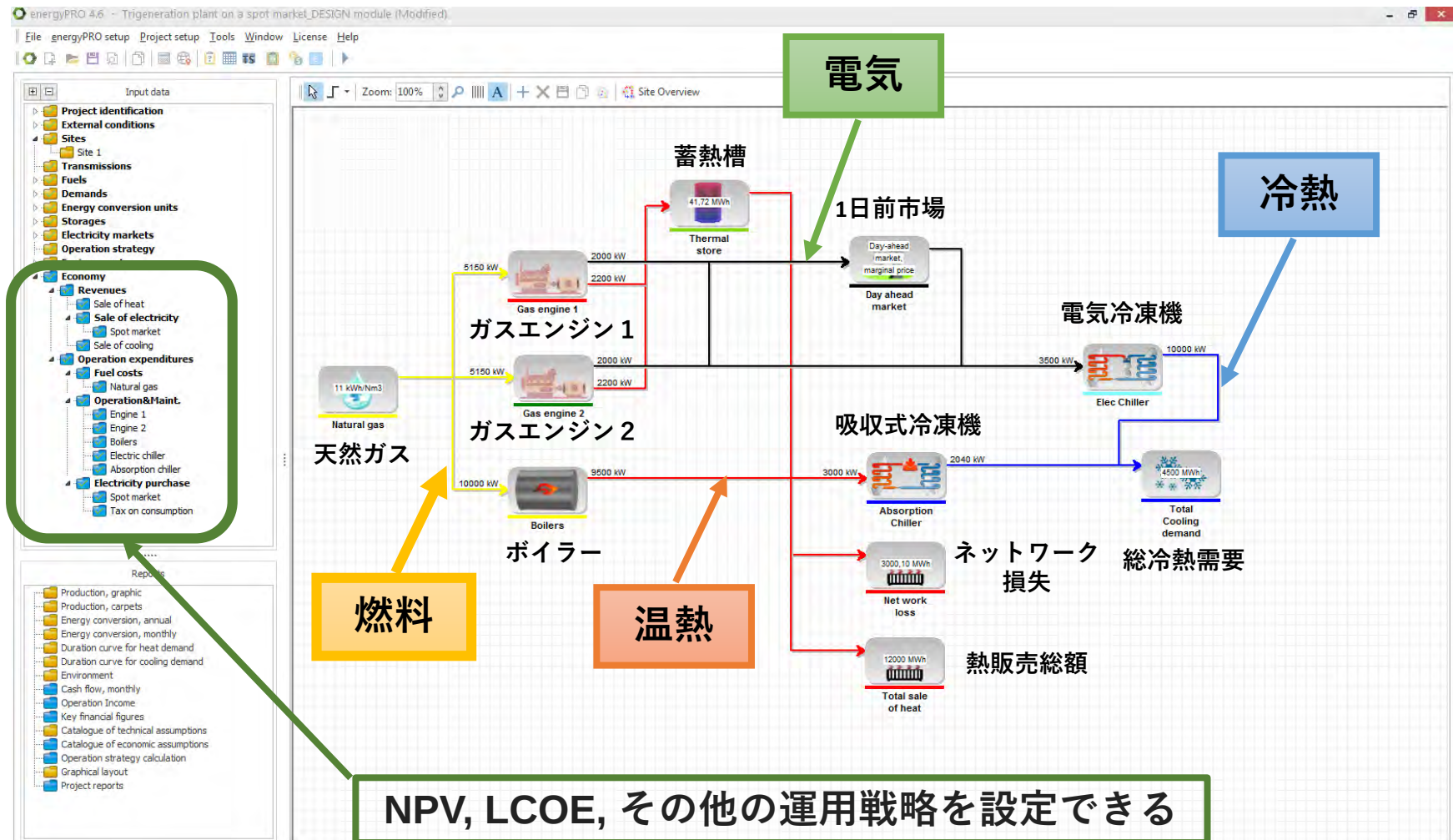
- 1990~98年通達により熱計画におけるグリーン化が促進された
 - DHはCHPにすべし
 - 石油・石炭から天然ガス・バイオマスへ
- 1990~97年に増加した容量の4分の3がCHP
- 1990年代から地域（自治体）の熱計画当局の決定に関する**明確な国家ガイドライン**

地域 計画

長期的な地域開発計画としての地域エネルギー

- **公共インフラ**として地域熱供給を計画
- 都市・地域計画の中で**ゾーニング**（居住区、商業区、エネルギープラントや廃熱施設の設置場所）
- **新しい建築物のデザインと設計に地域温冷熱供給 (DHC)を採用する**
 - ゼロエネルギー（ZEH）ではなく**低エネルギー**
 - **低温の熱供給**に備える

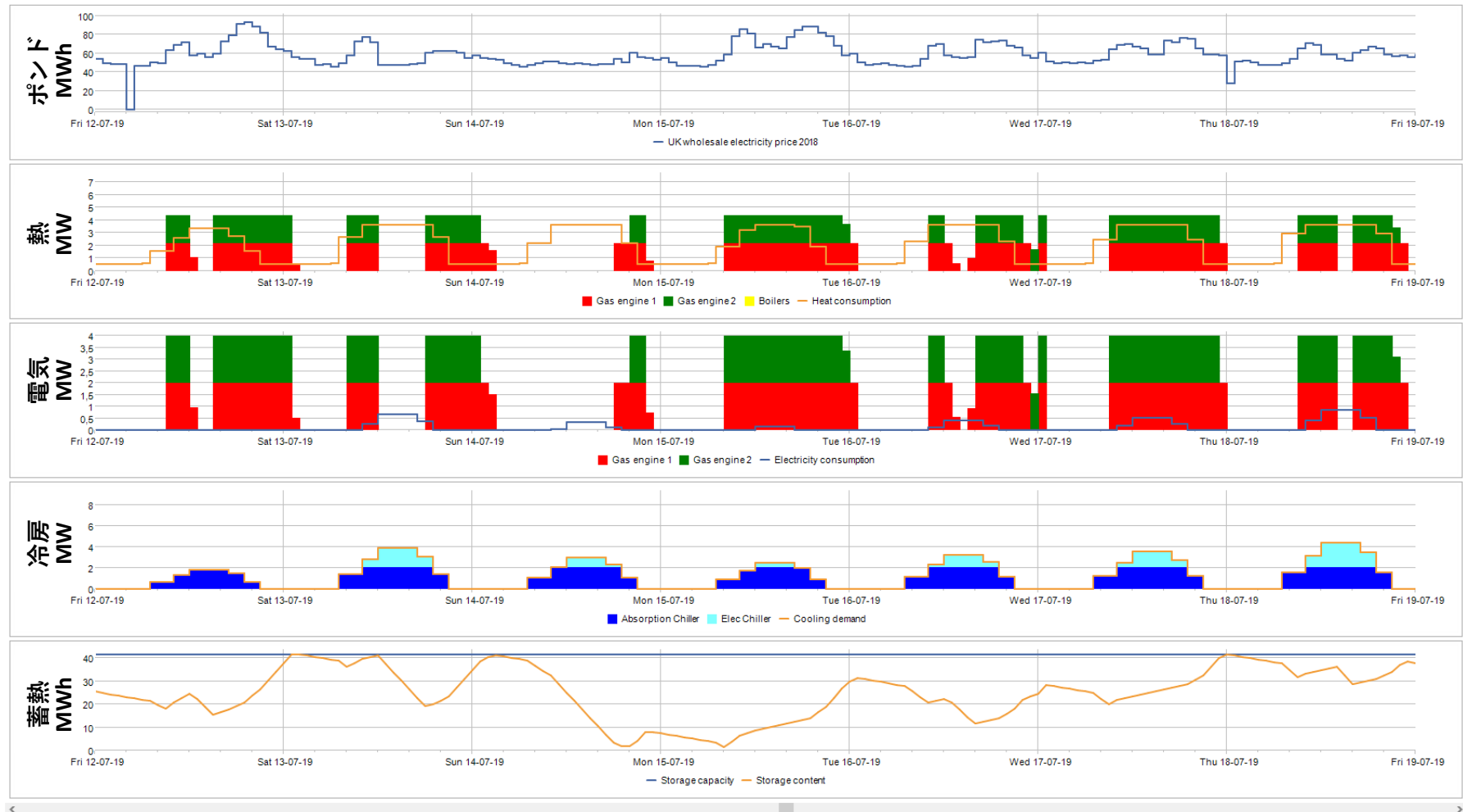
energyPRO (EMD International)



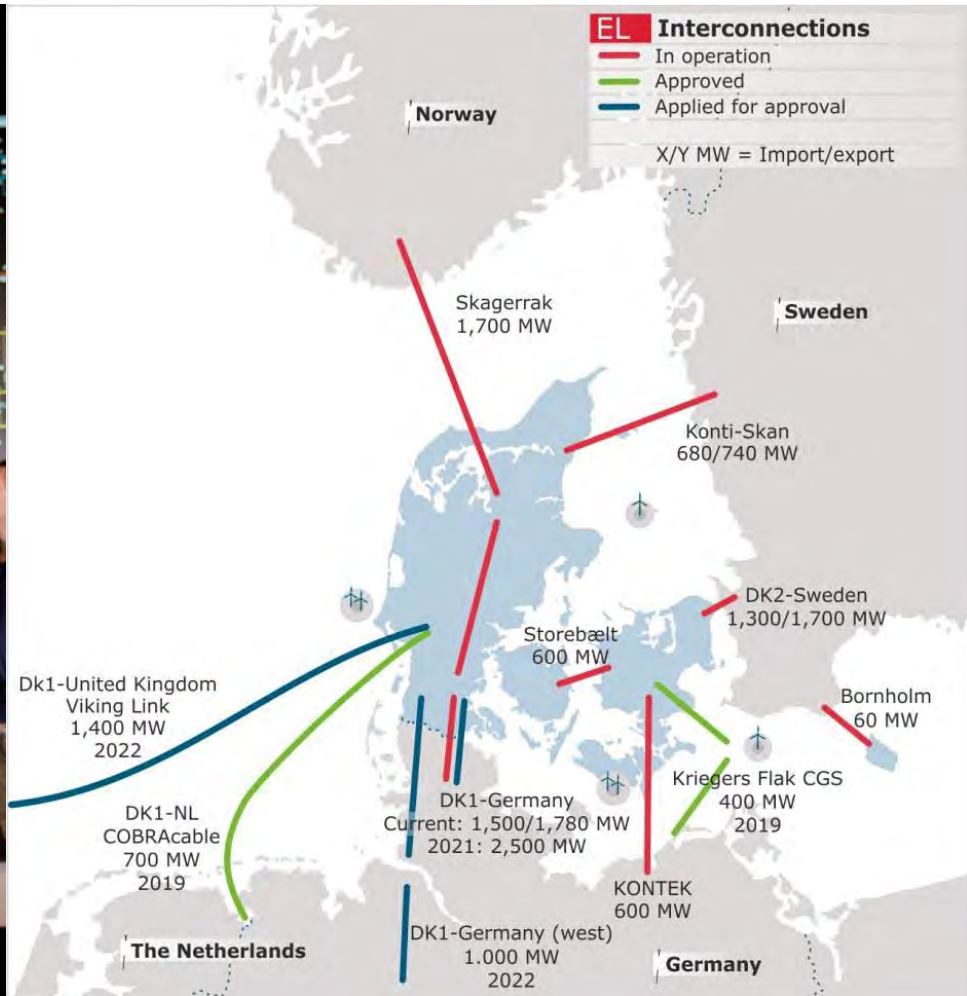
energyPRO (EMD International)

Trigeneration plant on a spot market_DESIGN module | 12-09-2019 10:30:03

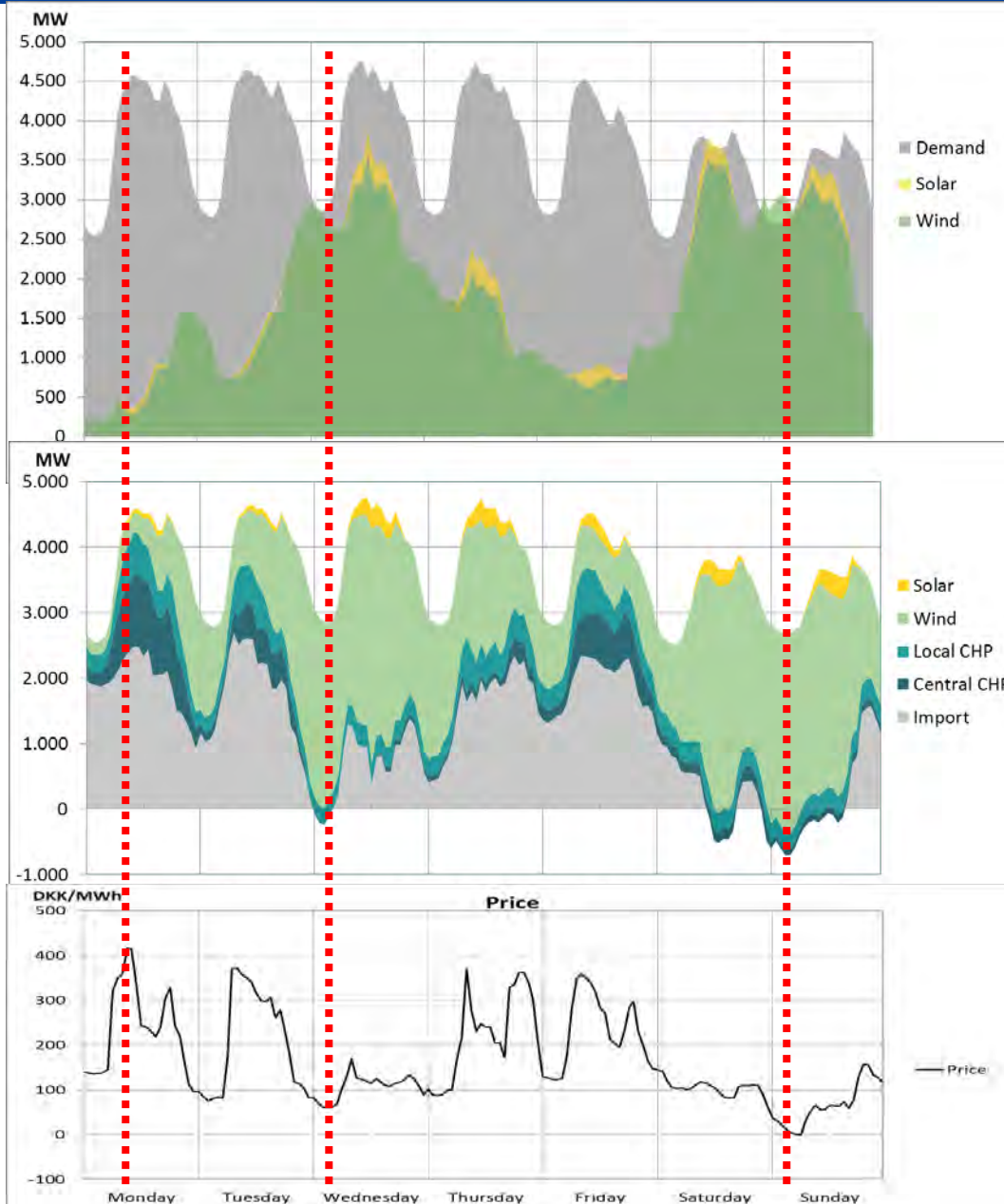
Days 7 ☐ Synchronize ☐ Close next calc



電気とガス



【例】9月の電力需給



■主力電源

51% が風力と太陽
光発電

■柔軟な電力システム

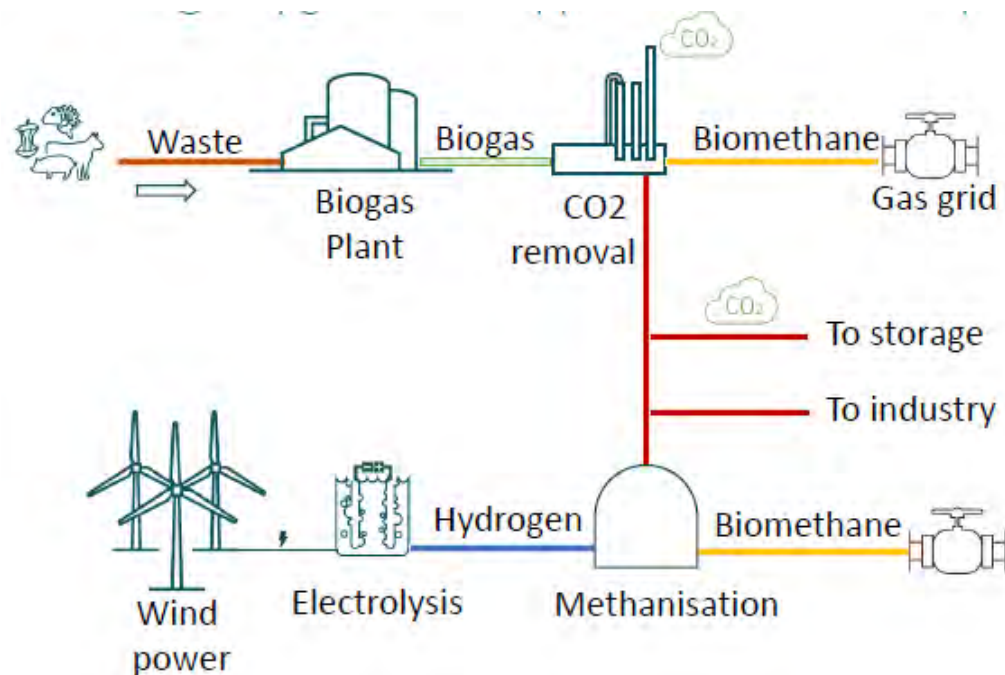
1時間ごとの調整
と取引

■スポット価格

価格と連動

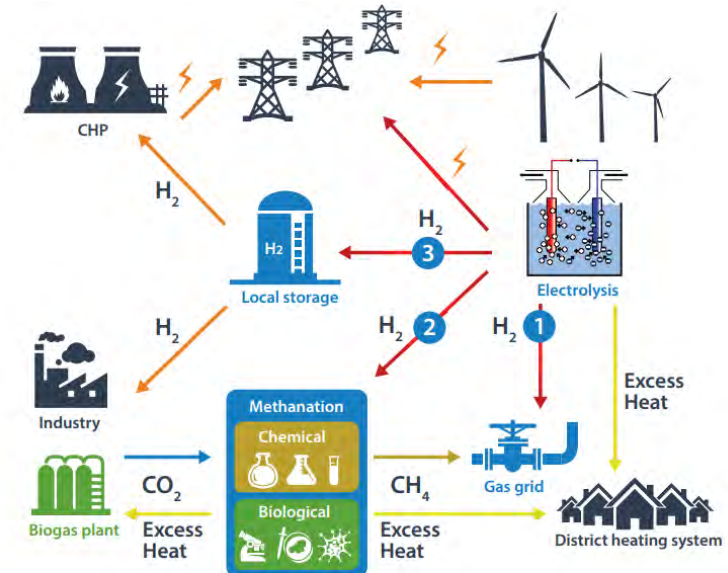
バイオガスを天然ガス網へ

UPGRADE OF BIOGAS TO BIOMETHANE



電気をガスへ

POWER TO GAS (PtG)



House of Green

