

## デンマークの太陽熱地域熱供給と季節間蓄熱

認定NPO法人 環境エネルギー政策研究所

松原弘直

2019年7月25日

環境エネルギー政策研究所  
東京都新宿区四谷三栄町16-16  
Tel 03-3355-2200 Fax 03-3355-2205  
<https://www.isep.or.jp/>

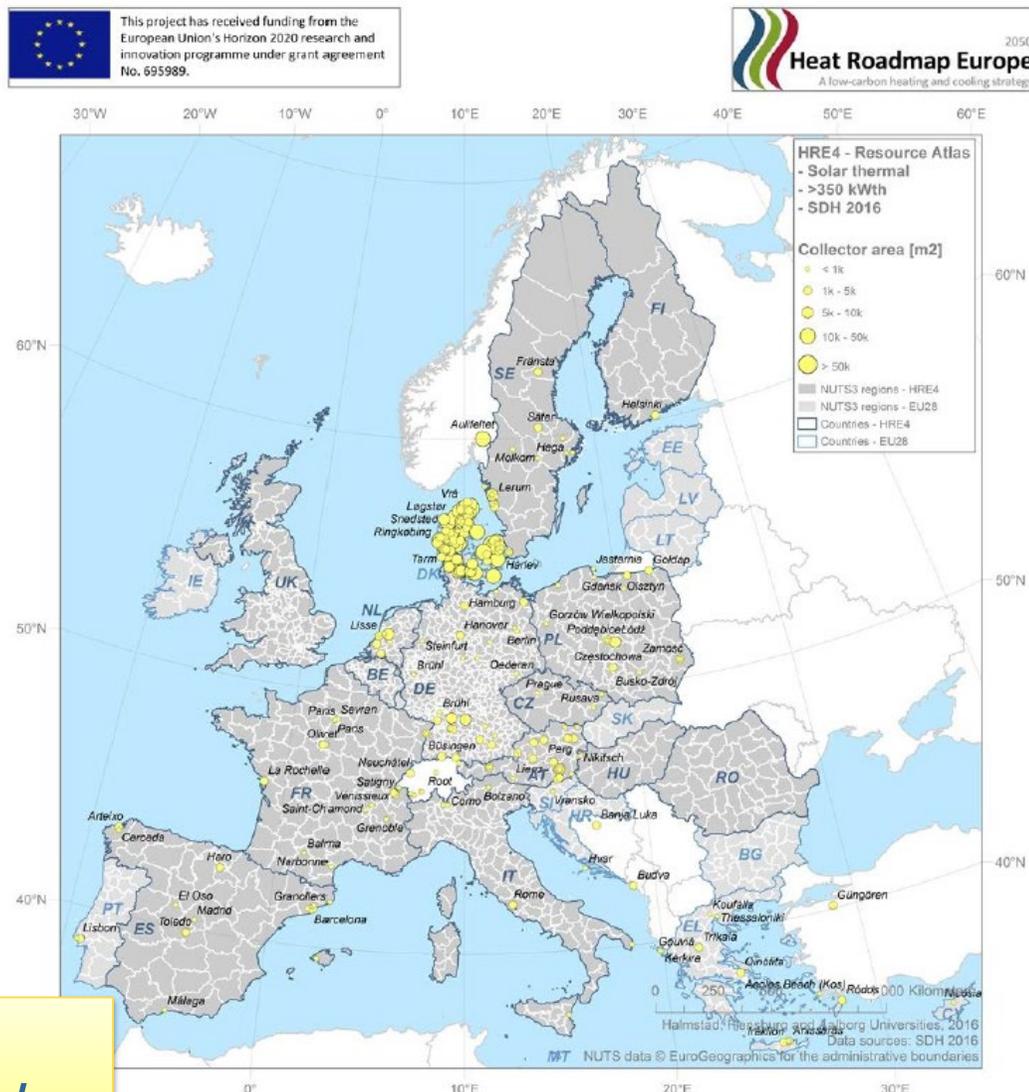
Institute for  
Sustainable  
energy  
policies **isep**

# 太陽熱地域熱供給(SDH:Solar District Heating)

- 太陽熱地域熱供給(SDH)はデンマークを中心に発展してきたが、近年ではドイツ、オーストリアでも導入されている。
- SDHは欧州のエネルギー転換で重要な技術のひとつとなり、過去5年間の市場の年間成長率は35%、年間供給熱量は1TWhに達した(2018年)。
- 欧州で最大のSDHの規模は110MWth(太陽熱パネル15.7万平米)に達する(Silkeborg, Denmark)。
- SDHp2m project(Solar District Heating from policy to market):2016年より8カ国9の地域で実施

出所:SDHp2mプロジェクト

<https://www.solar-district-heating.eu/>



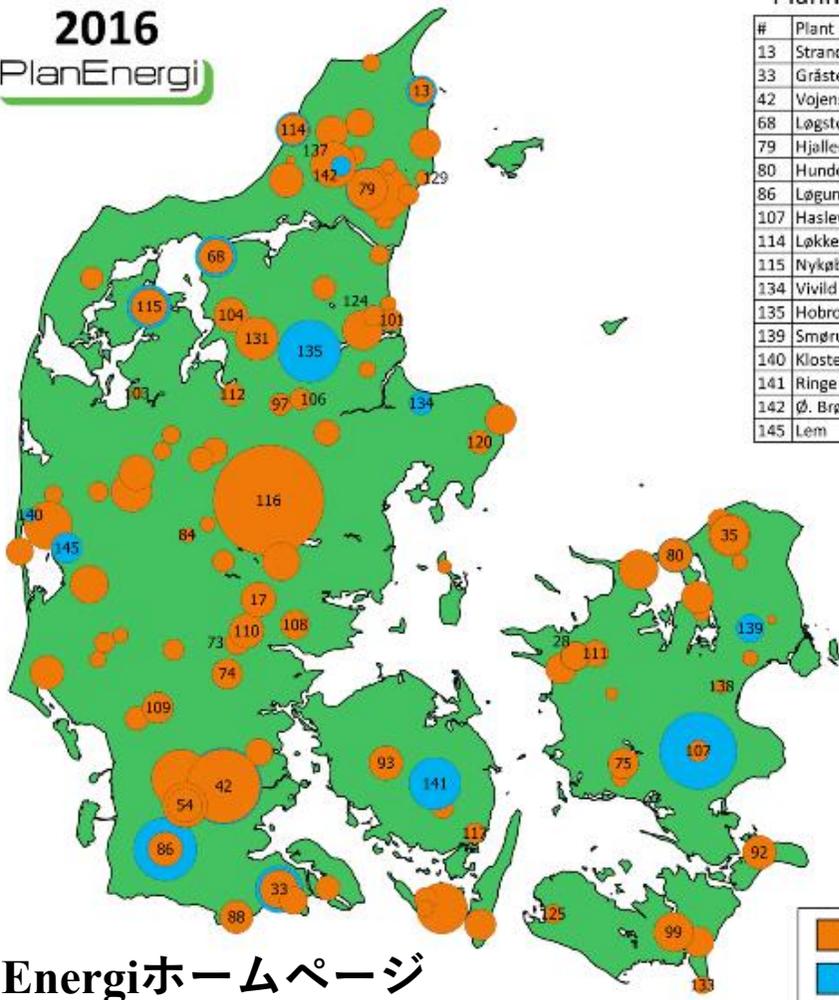
## 欧州のSDHプラント導入実績

Solar district heating systems in Europe (Source: Halmstad University, SWE)

# デンマーク国内に導入されている太陽熱地域熱供給

## デンマーク国内で100以上のSDHが稼働

2016  
PlanEnergi



Planned new & expansions

#	Plant	Collector area (m2)
13	Strandby	{8019}+4000
33	Gråsten	{19024}+11189
42	Vojens	{17500+52492}+5000
68	Løgster	{15208}+7000
79	Hjallerup	{21546}+2500
80	Hundested	{14465}+1200
86	Løgumkloster	{9699+5576}+36000
107	Haslev	{6010}+70000
114	Løkken	{12096}+3000
115	Nykøbing Mors	{16708}+8000
134	Vivild	7000
135	Hobro	50000
139	Smørum	10000
140	Kloster	2300
141	Ringø	35000
142	Ø. Brønderslev	5000
145	Lem	12000

New plants & expansions in operation

#	Plant	Collector area (m2)
17	Tørring	{7284}+8467
28	Svebølle-Visking.	{7035+3000}+1000
35	Helsingø	{4733+14855}+3276
54	Toftlund	{11000}+15000
73	Bredsten - Balle	7800
74	Egtved	12000
75	Fuglebjerg	12000
84	Kølkær	2873
86	Løgumkloster	{9699}+5576
88	Padborg	13961
92	Stegø	14515
93	Tommerup	15000
97	Ørum	6375
99	Øster Tørbø	20000
101	Als (Mariagerfj.)	5947
103	Ejsing	1800
104	Farsø	15120
106	Hammershøj	6000
107	Haslev	6010
108	Hedensted	11000
109	Holsted	12500
110	Jelling	15290
111	Jyderup	9239
112	Løgstrup	7031
114	Løkken	12096
115	Nykøbing Mors	16708
116	Silkeborg	156694
117	Skårup (Sydfyn)	5418
120	Trustrup-Lyngby	7245
124	Veddum (VSV)	5500
125	Søllested	4701
129	Voerså	2873
131	Aalestrup	24129
133	Gedser	4000
137	Brønderslev	26929
138	Havdrup	2569

■ In operation  
■ Planned / planned expansion

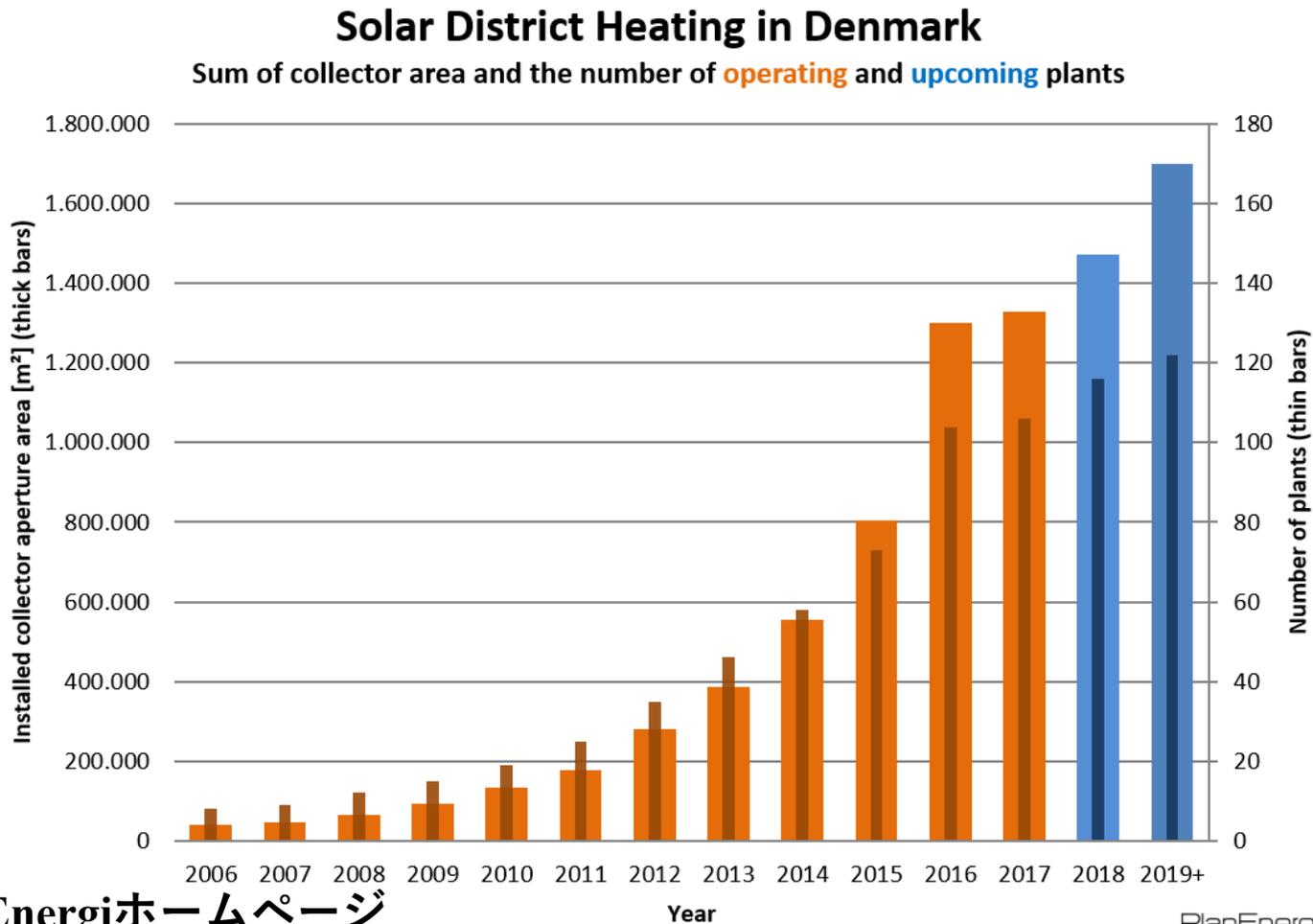
Total collector area (in operation): 1 302 331 m<sup>2</sup>  
 Total collector area (planned): 269 189 m<sup>2</sup>

出所：PlanEnergiホームページ

<http://planenergi.eu/activities/district-heating/solar-district-heating/>

# デンマークの太陽熱地域熱供給(SDH)の導入トレンド

## 2016年までにデンマーク国内で100以上のSDHが稼働



出所：PlanEnergiホームページ

<http://planenergi.eu/activities/district-heating/solar-district-heating/>

# デンマークの太陽熱地域熱供給(4DH)ベスト4

The world's **largest** solar thermal plant  
**Silkeborg, Denmark** – 156.700 m<sup>2</sup>



**Silkeborg, DK:**  
 Solar system: 110 MW, 156.700 m<sup>2</sup> aperture area  
 Temperatures: 80 - 110°C  
 Max flow: 2.700 m<sup>3</sup>/h  
 Yearly yield: 80.000 MWh → 20% solar coverage of town demand!  
 CHP as balancing and reserve power only

ARCON SUNM/ARK

THE SECOND WORLD'S **LARGEST**  
 SOLAR HEATING PLANT, **VOJENS (DK)**



**Vojens, DK:**  
 Solar system: 49 MW, 70.000 m<sup>2</sup> aperture area  
 Pit storage: 200.000 m<sup>3</sup> water with 70cm floating insulation at the top.  
 Storage temp. at end of summer: 90°C  
 Yearly yield: 28.000 MWh → 45% solar coverage of town demand!  
 Heat cost: 42 €/MWh (2% interest rate, 25a, no subsidy)  
 CO2-saving: 6.000 ton/year  
 CHP as balancing and reserve power only

ARCON SUNM/ARK

THE THIRD WORLD'S **LARGEST** SOLAR  
 HEATING PLANT, **GRAM (DK)**



122.000 m<sup>3</sup> thermal pit storage



44.924m<sup>2</sup> solar panels and

THE FOURTH WORLD'S **LARGEST** SOLAR  
 HEATING PLANT, **DRONNINGLUND (DK)**



37.573 m<sup>2</sup> solar panels  
 62.000 m<sup>3</sup> thermal pit storage

ARCON SUNM/ARK

# デンマークの代表的な太陽熱地域熱供給(SDH)



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

**Dronninglund:2005年～2014年**

- 37,573 m<sup>2</sup> 太陽熱パネル
- 62,000 m<sup>3</sup> ピット式蓄熱槽

**Brædstrup:2007年～2012年**

- 37,200 m<sup>2</sup> 太陽熱パネル
- 48 ボアホール

**Gram:2009年～2015年**

- 44,800 m<sup>2</sup> 太陽熱パネル
- 鋼鉄製タンク・季節間蓄熱:  
122,000 m<sup>3</sup>

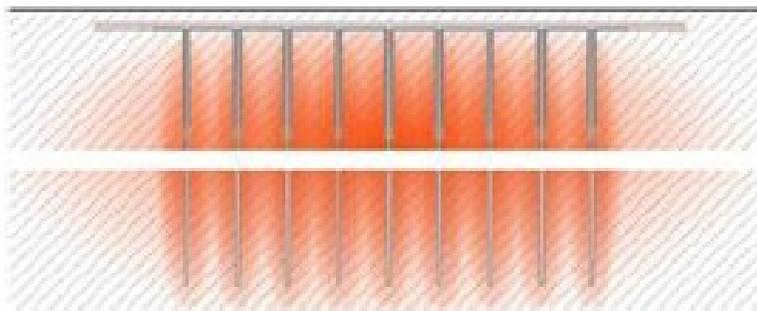
**Marstal:2003年～2012年**

- 33,300 m<sup>2</sup> 太陽熱パネル
- 75,000 m<sup>3</sup> ピット型蓄熱槽

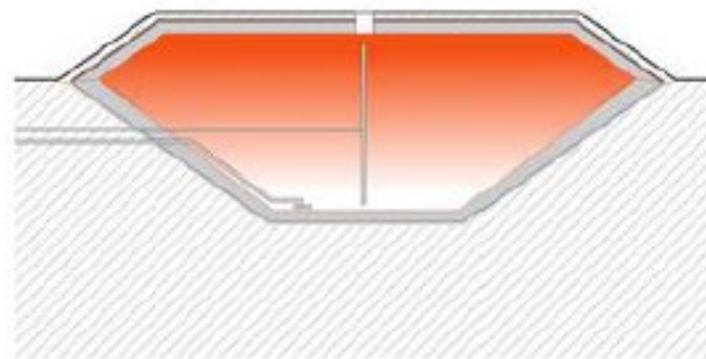
# デンマークでの地域熱供給のための大規模蓄熱技術

- デンマークの地域熱供給における蓄熱技術
  - バッファ蓄熱槽(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 Storages(BTES)
  - ピット型: Pit Thermal Energy Storages(PTES)

Borehole thermal energy storage  
(BTES)  
(15 to 30 kWh/m<sup>3</sup>)



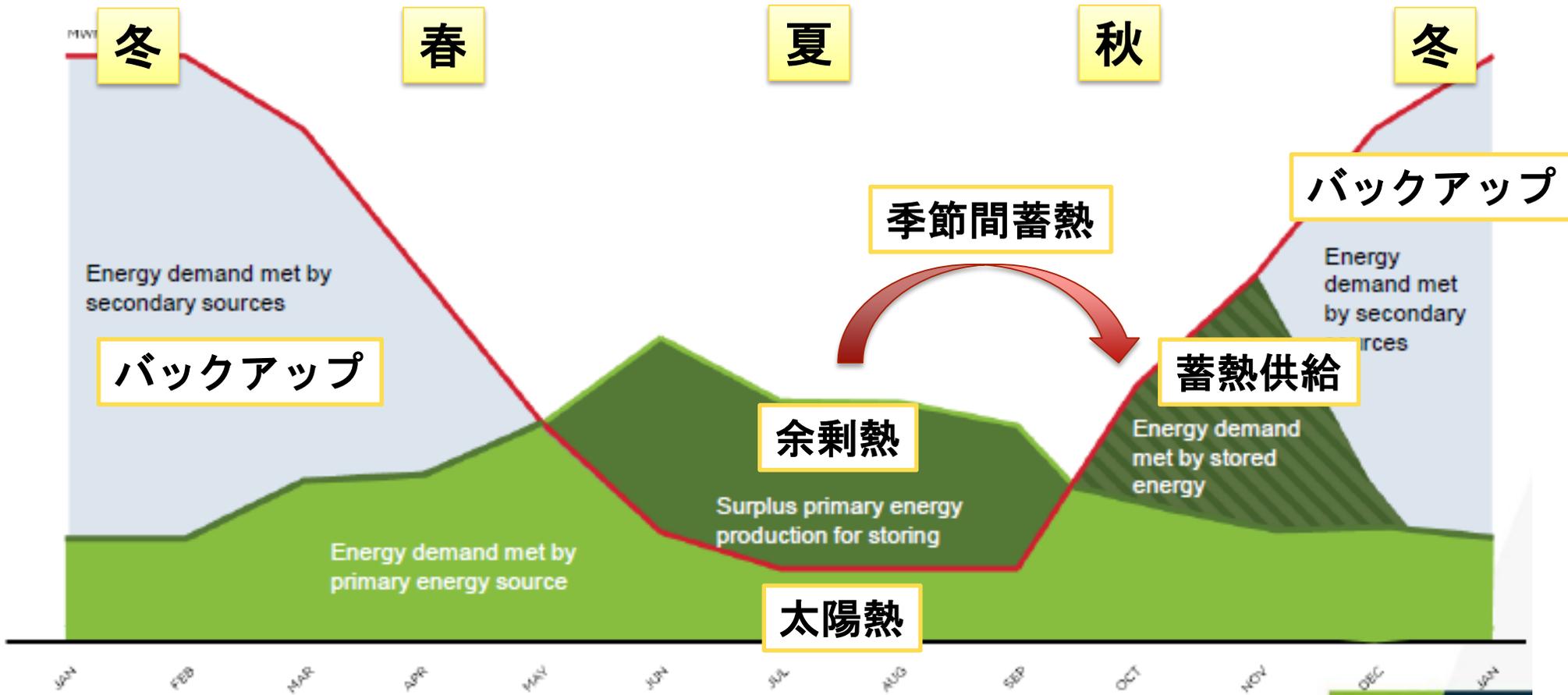
Pit thermal energy storage (PTES)  
(30 to 80 kWh/m<sup>3</sup>)



出典: "Design and Construction of Large Scale Heat Storages for District Heating in Denmark" PlanEnergi(2018)

# 太陽熱利用と季節間蓄熱のコンセプト

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: 太陽熱地域熱供給(SDH)システム Dronninglund村(デンマーク北部)



**Dronninglund地域熱供給(1989年～)**

**ユーザ数: 1350世帯(30万平米)**

**熱導管距離: 46km**

**年間供給熱量: 38,700MWh**

**年間販売熱量: 29,700MWh**

**熱販売価格: 71EUR/MWh**

**ガスCHP: 6MW**

**ガスボイラー: 8MW**

**バイオ燃料吸収式HP: 2.1MW**

**SDH運転開始: 2014年**

**太陽熱パネル: 37,573平米(26MW)**

**化石燃料削減率: 40%(目標50%)**

**ピット式蓄熱槽(PTES): 60,000立米**

**蓄熱容量: 5400MWh(12°C - 89°C)**

**最大熱供給容量: 27MW**

**年間蓄熱量: 11855MWh(2016年)**

**年間熱供給量: 10716MWh(2016年)**

**熱損失: 1020MWh(2016年)**

**投資額: 0.43EUR/kWh(232万EUR)**

The project is subsidised from EUDP  
(Energy Technological Development and Demonstration Program)  
administered by the Danish Energy Agency.



**助成: EUDP(Energy Technology Development and Demonstration Programme) SUNSTORE3 project(2008年～2014年)**

# 大規模ピット式蓄熱槽(PTES)の構造 Dronninglund太陽熱地域熱供給



Polymer roof liner

Insulation

Floating liner HDPE

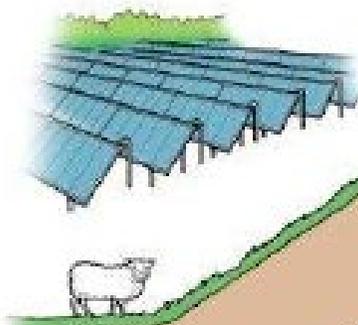
HDPE liner

Geotextile filt

Soil

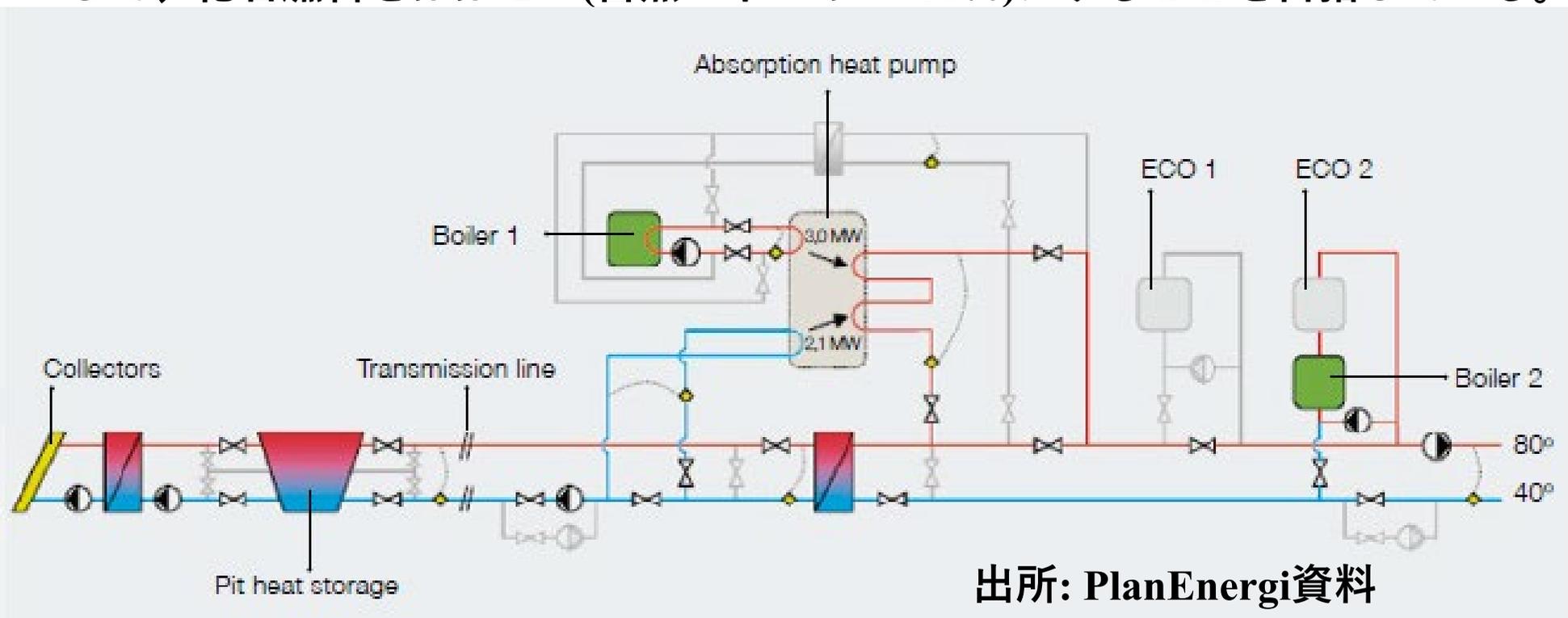
Softened and added with NaOH

Coated steel

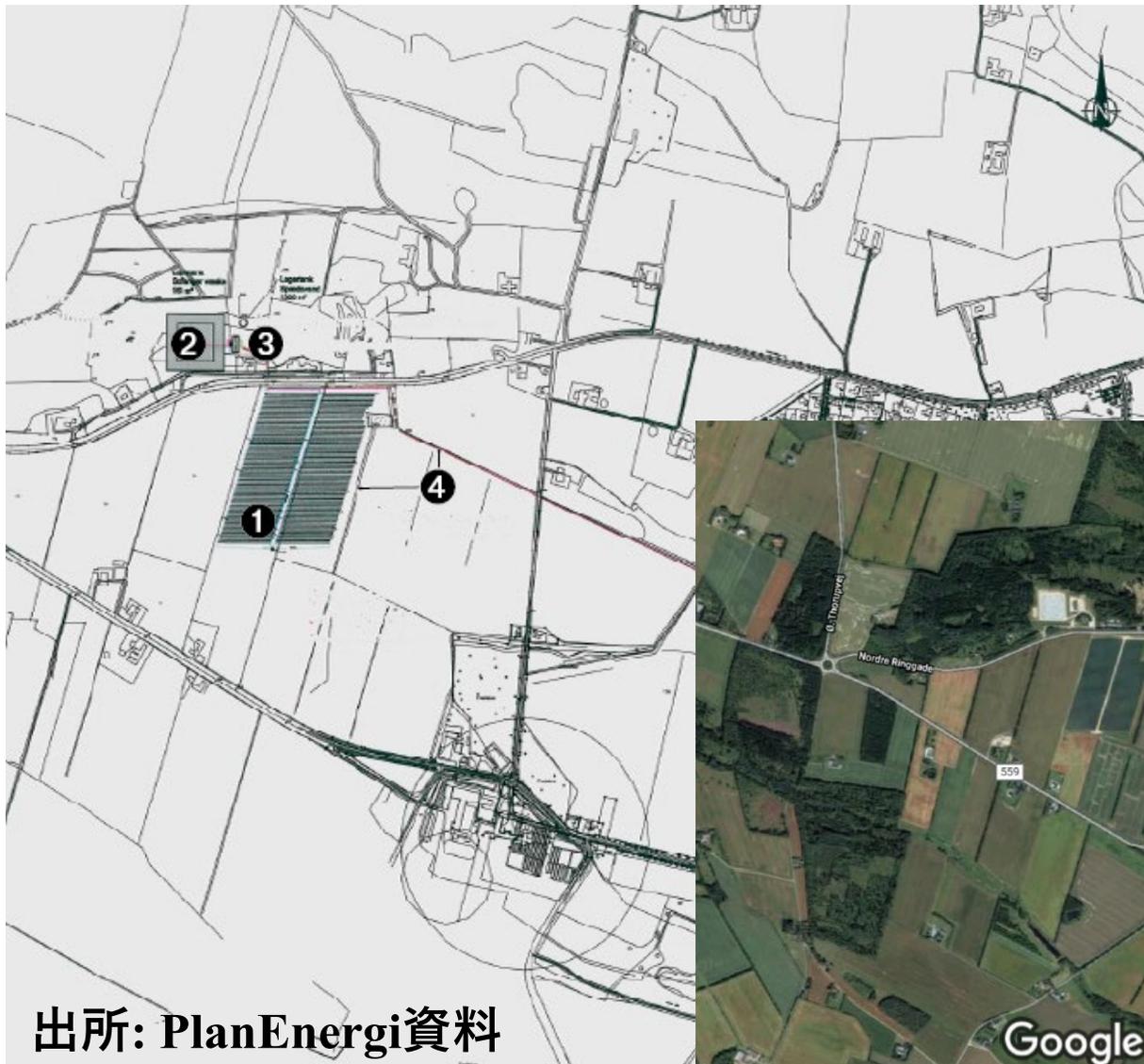


# Dronninglund村(デンマーク北部)太陽熱地域熱供給

- 太陽熱パネル(3.8万平米)のための季節間蓄熱槽として容積6.2万立米のピット式蓄熱槽を設けて、バイオ燃料の熱で駆動する吸収式ヒートポンプで夏季以外に必要な加温を行っている。
- 2016年の実績では太陽熱により地域熱供給の年間熱量の41%を供給した(設計とおり)。蓄熱槽の損失は年間で約9%程度で、90%以上の熱が利用された。
- 将来の計画では、風力発電からの余剰電力を活用した地中熱ヒートポンプを導入して、化石燃料をほぼゼロ(自然エネルギー100%)にすることを目指している。



# Dronninglund村(デンマーク北部)太陽熱地域熱供給

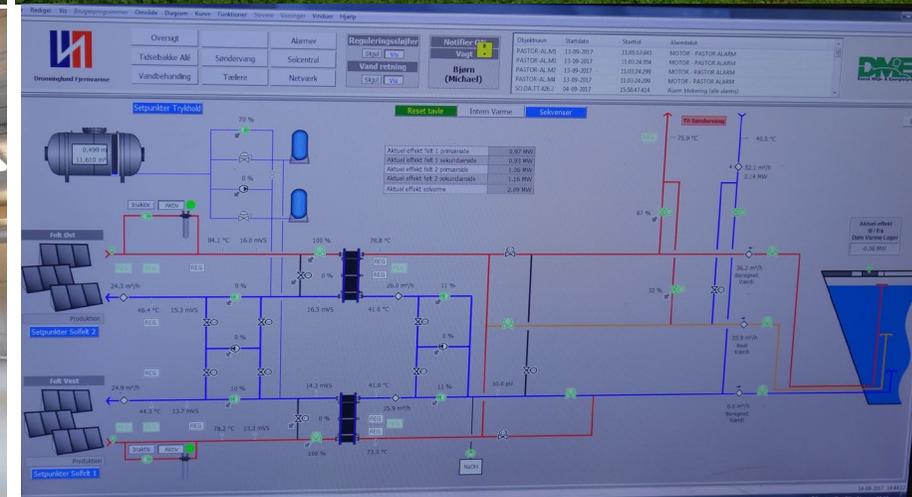


1. 太陽熱プラント
2. ピット式蓄熱槽
3. 管理棟・機械室
4. 熱導管
5. 吸収式HP(バイオオイル)



出所: PlanEnergi資料

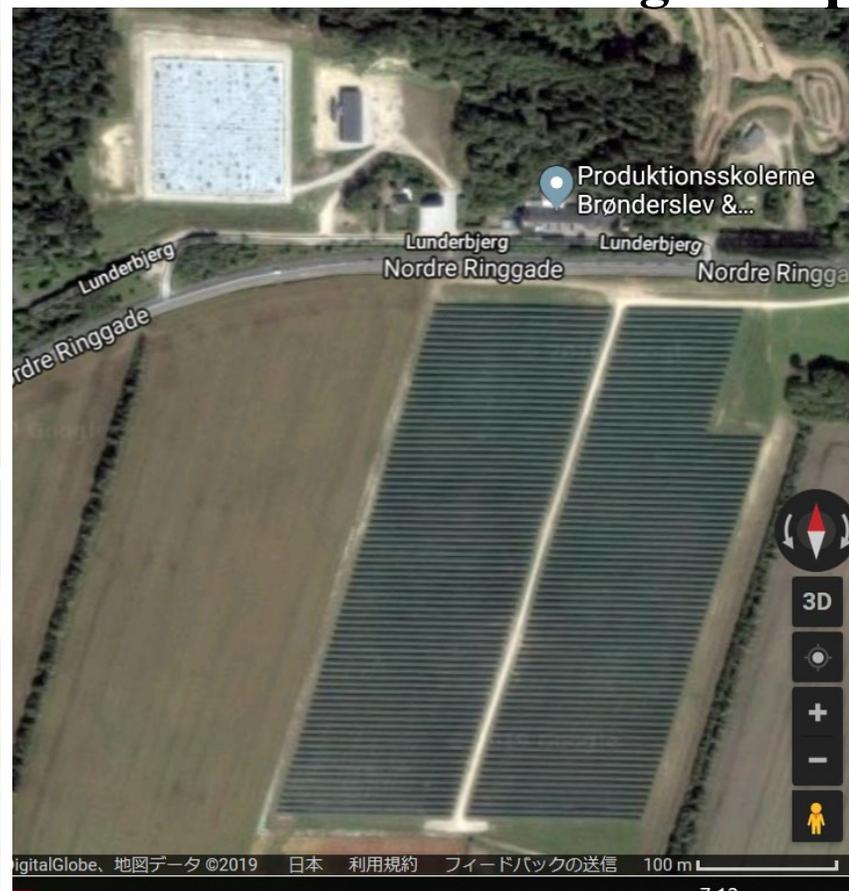
# Dronninglund村(デンマーク北部)太陽熱地域熱供給



# Dronninglund村(デンマーク北部)太陽熱地域熱供給

## ピット型季節間蓄熱槽の工事

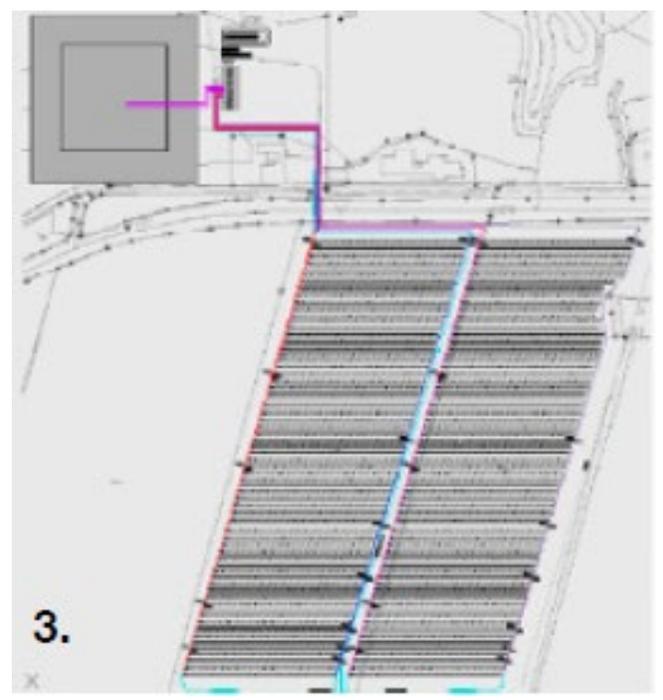
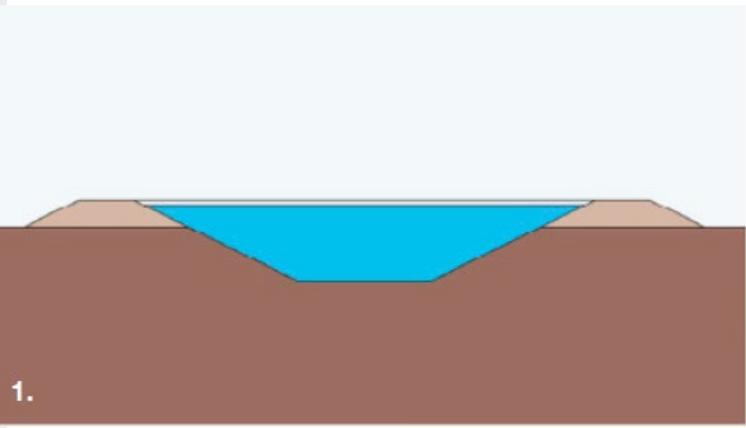
Google Map



// Photos from construction of the pit heat water storage

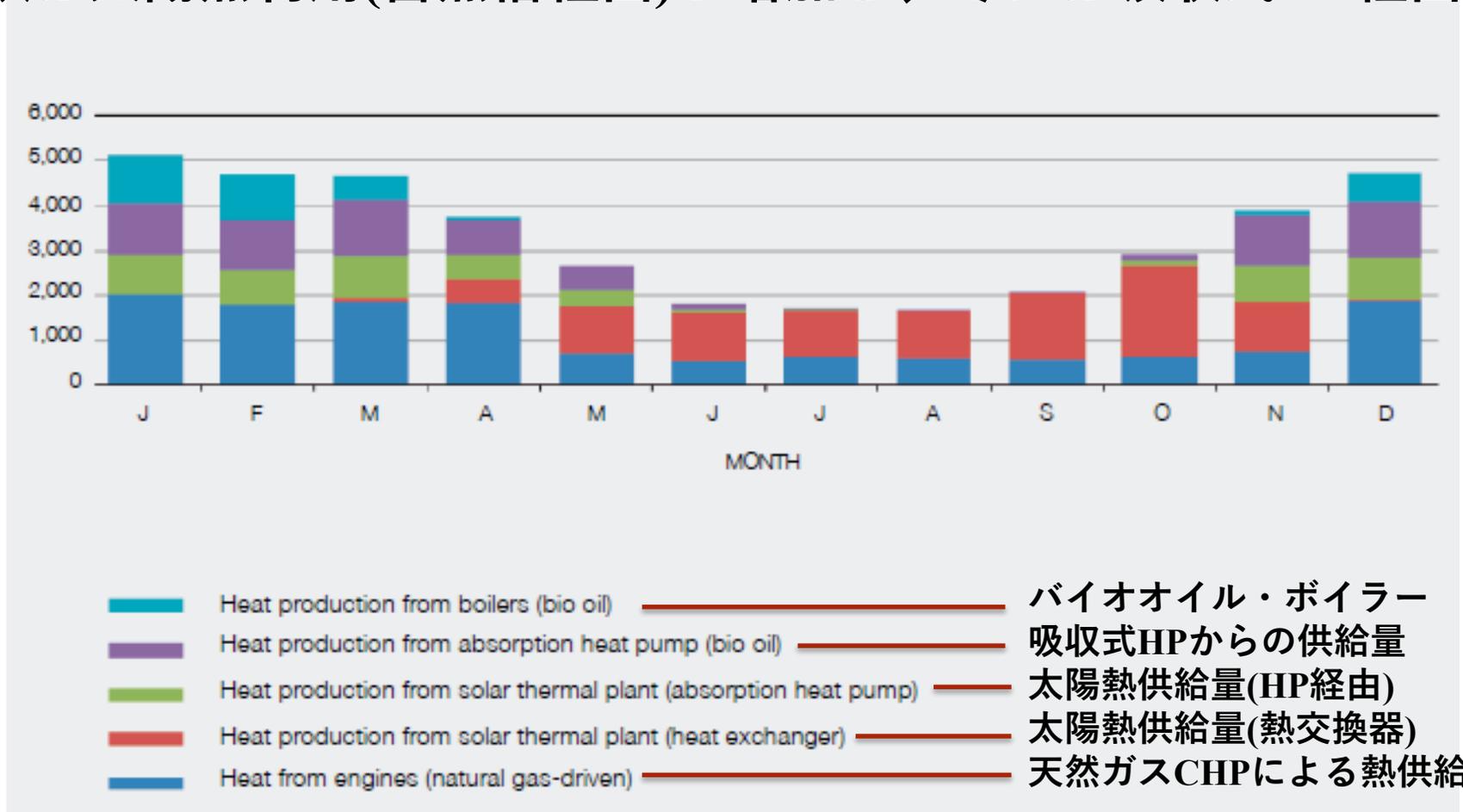
出所: PlanEnergi資料

# Dronninglund村(デンマーク北部)太陽熱地域熱供給 季節間蓄熱槽の温度変化(予測値)



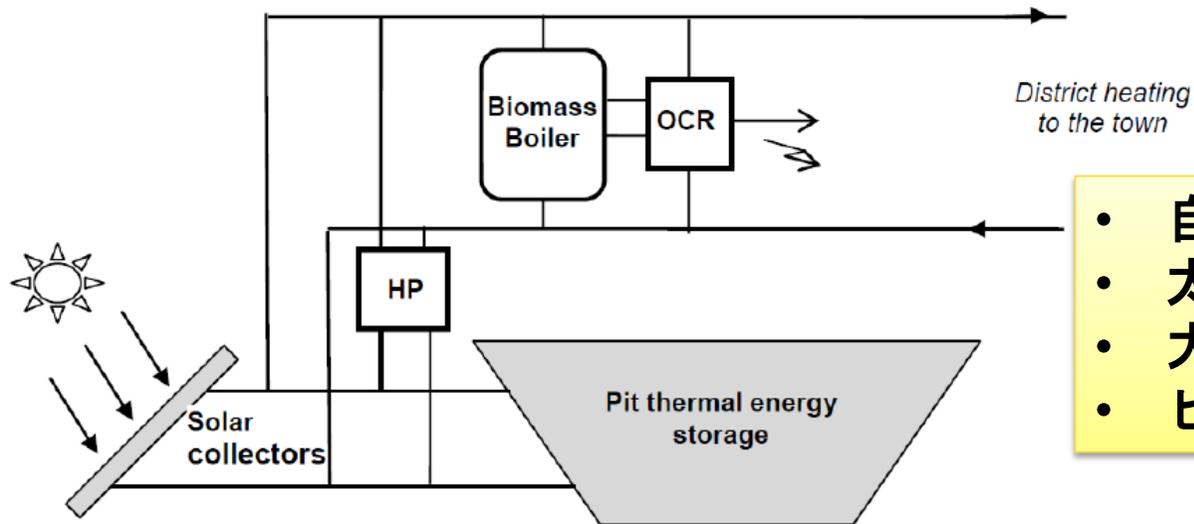
# Dronninglund村(デンマーク北部)太陽熱地域熱供給 年間月別の熱供給量(設計値)

- 夏はできるだけ太陽熱(蓄熱槽経由)を利用して天然ガスを削減
- 秋は太陽熱利用(蓄熱槽経由)が増加し、冬には吸収式HP経由で



出所: PlanEnergi資料

# 太陽熱地域熱供給(SDH)と季節間蓄熱の基本コンセプト



- 自然エネルギー100%で地域熱供給
- 太陽熱で50%以上をカバー
- 大規模な季節間蓄熱
- ヒートポンプ活用による効率化

**SUNSTORE™**

EU助成(EUDP)による太陽熱地域熱供給プロジェクト  
(デンマーク中心)の実証事業

**SUNSTORE2: Marstal(2003~)**

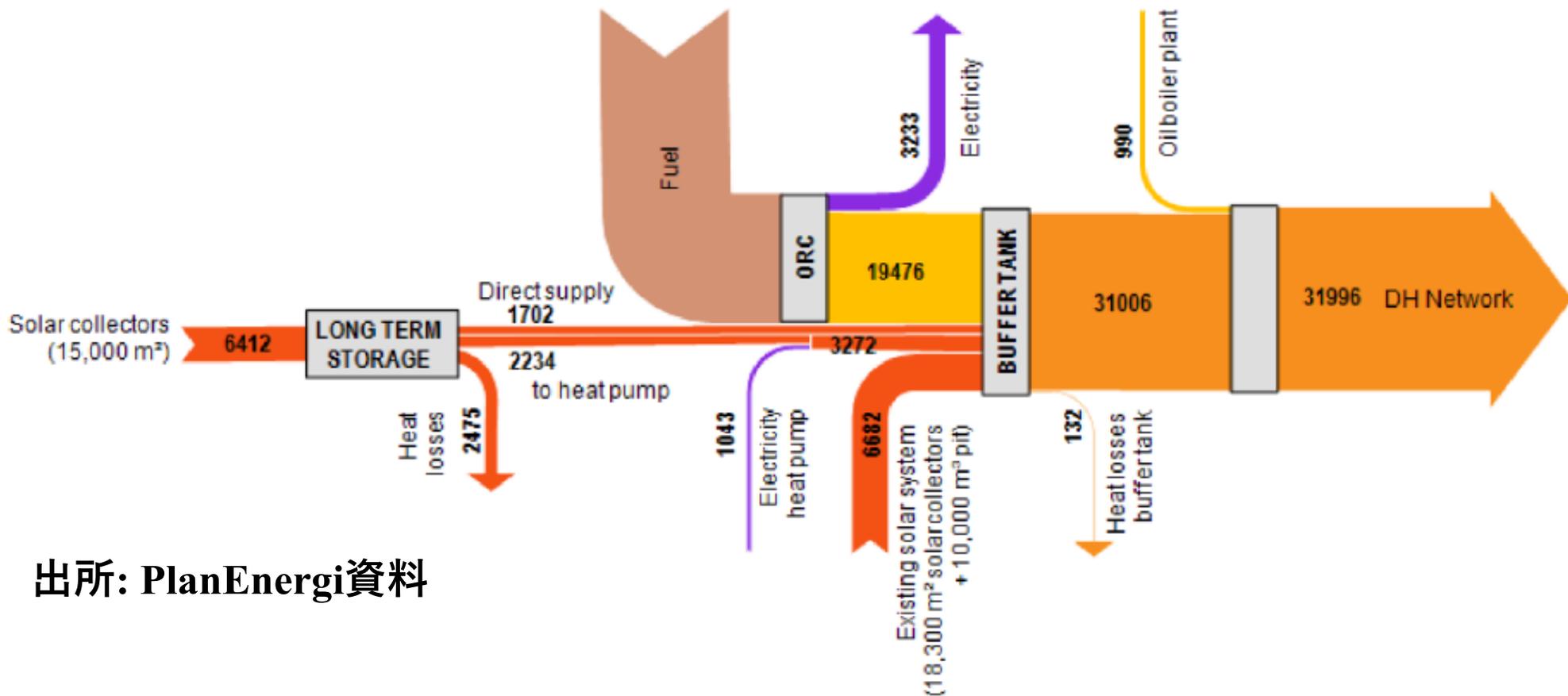
**SUNSTORE3: Dronninglund(2005~2014)**

**SUNSTORE4: Marstal(~2012)**

出所: PlanEnergi資料

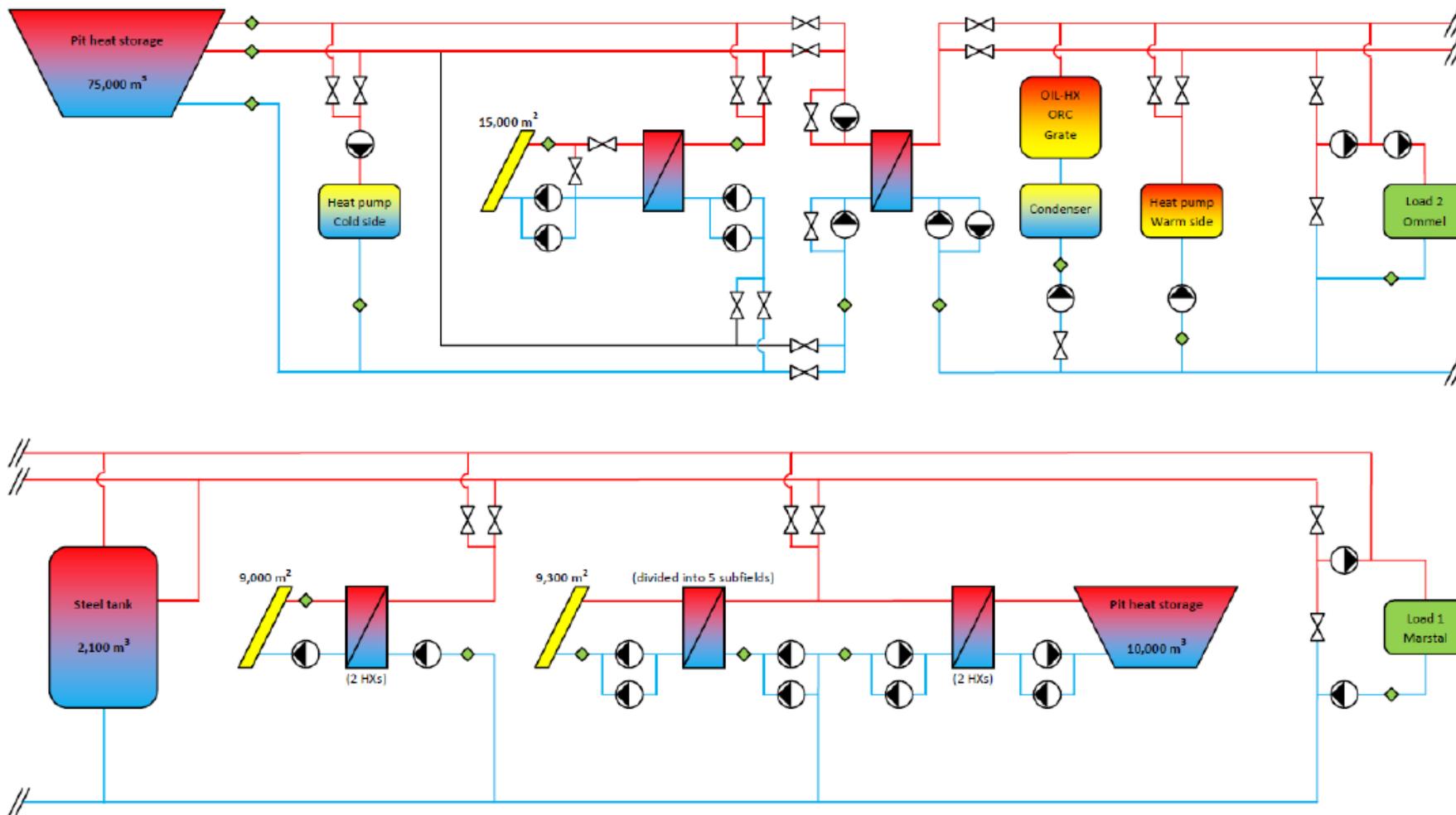
# 太陽熱地域熱供給(SDH)の事例: Marstal(デンマーク)

- 太陽熱パネル(15000m<sup>2</sup>)からの熱のうち季節間蓄熱槽で約38%損失
- 既存の太陽熱パネル(10,000m<sup>2</sup>)と合わせて約34%を供給
- ORCによりバイオマス燃料のCHPが年間需要の約6割を供給

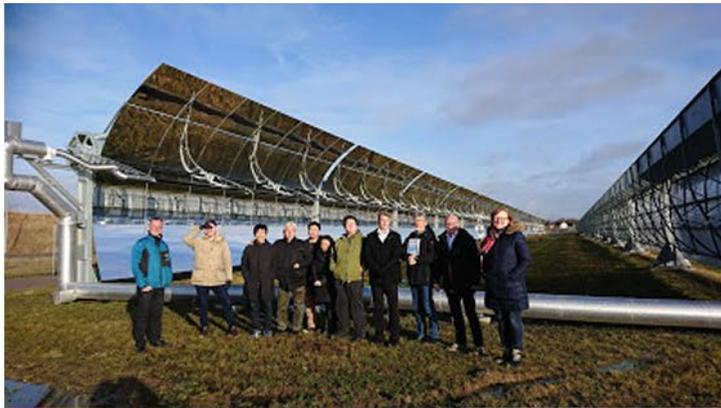


出所: PlanEnergi資料

# 太陽熱地域熱供給(SDH)の事例: Marstal(デンマーク)



# ご清聴ありがとうございました！



## Thank you!



環境エネルギー政策研究所  
東京都新宿区四谷三栄町16-16  
Tel 03-3355-2200 Fax 03-3355-2205  
<http://www.isep.or.jp/>

Institute for Sustainable Energy Policies **isep**

環境エネルギー政策研究所