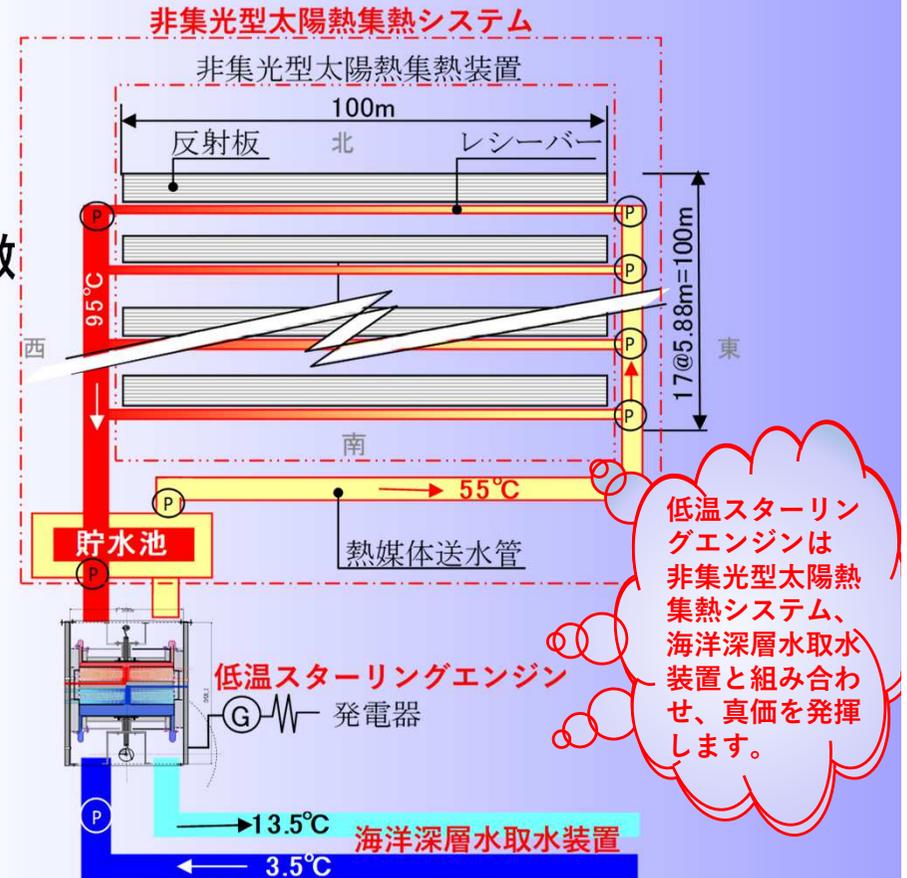


# 100°C未満 (温水/排熱で発電する) 低温スターリングエンジンの開発

## Contents

1. 身近な？スターリングエンジン  
【参考1】市販モデルの熱源温度と出力  
【参考2】市販モデルの形態
2. 蒸気発電 (ランキンサイクル) との違い、特徴  
【参考3】低温熱源用発電装置の効率と価格  
【参考4】低温スターリングエンジンの特徴
3. 開発動向  
【参考5】百聞は一見にしかず  
【参考6】Sunpulseシリーズの仕様
4. Sunpulse Water, Sunpulse500の問題点
5. 改善方法/目標効率  
【参考7】低温スターリングエンジンの概略設計
6. 用途/効果  
【参考8】太陽熱で空調/冷蔵/冷凍庫  
【参考9】STEC概要



STEC 全体図

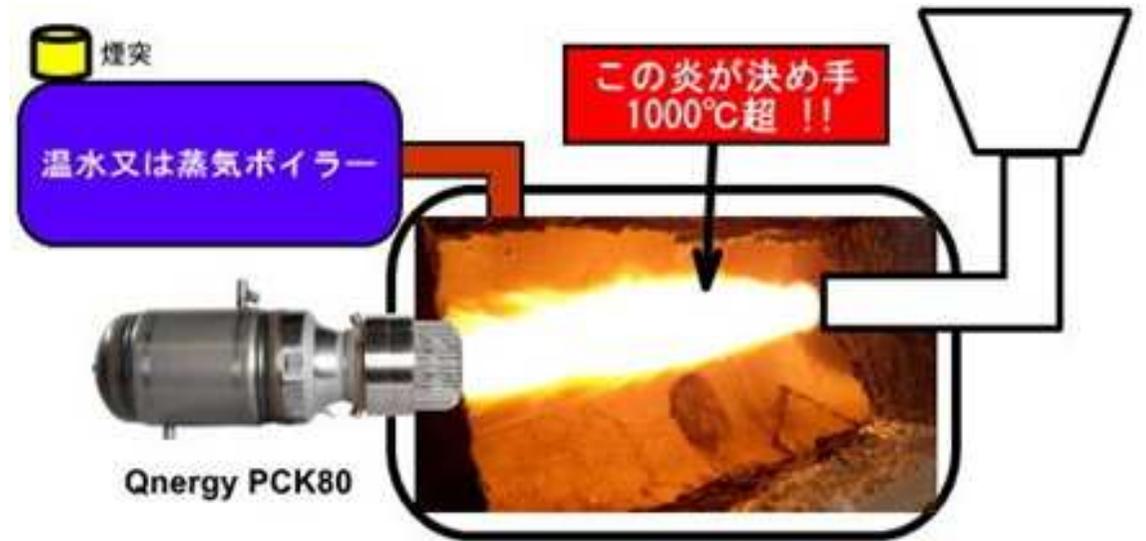
(Non-Concentrating and Low Temperature type Solar Thermal Energy Conversion)

平成30年10月20日  
株式会社デザインウォーター 辻目 英正

# 1. 身近な？スターリングエンジン



(1) Solar Stirling Engine



(2) バイオマス発電 Qnergy PCK 80



(3) そうりゅう (航続距離11,000km)



(4) 知育玩具低温スターリングエンジン

# 【参考1】市販モデルの熱源温度と出力

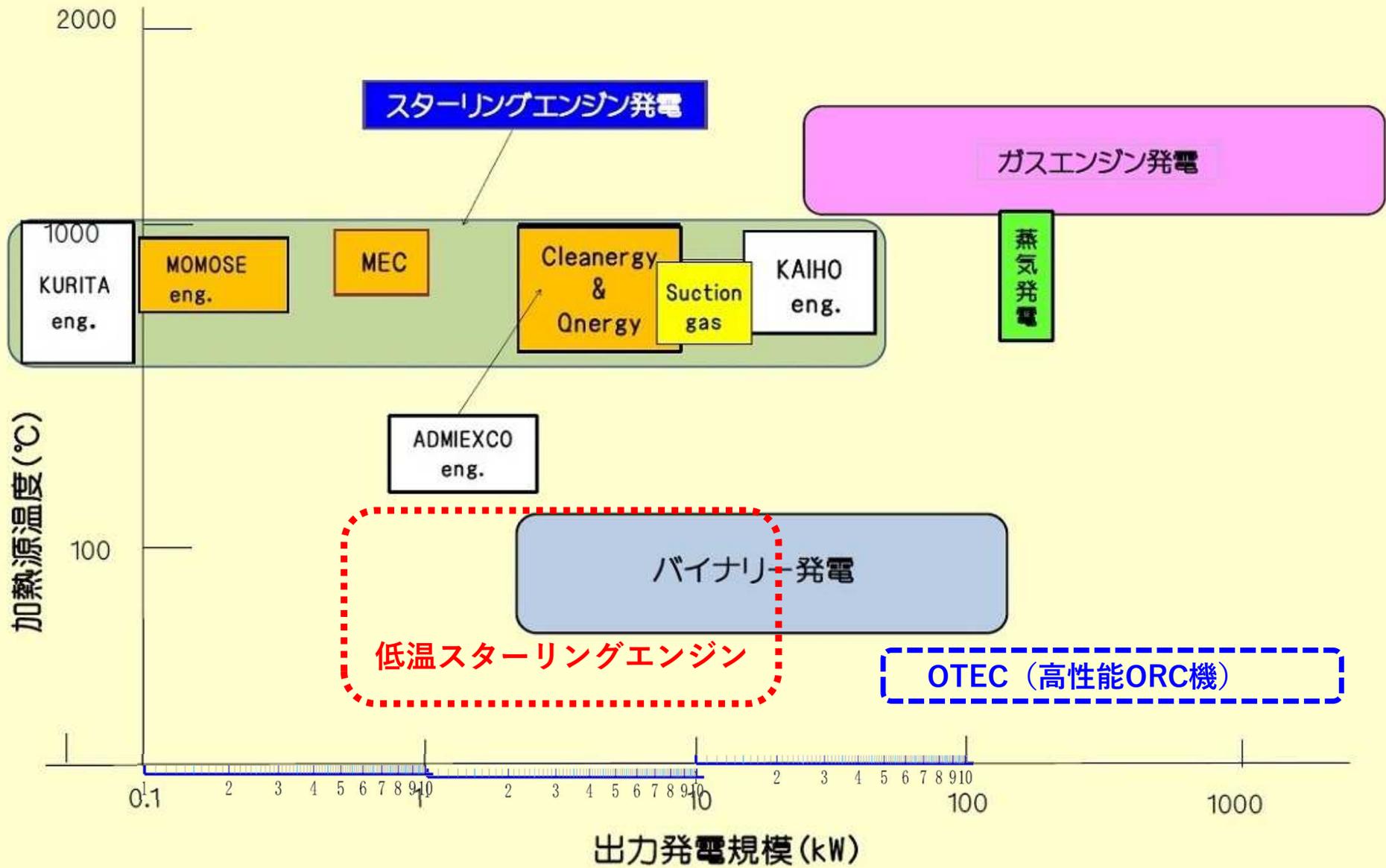


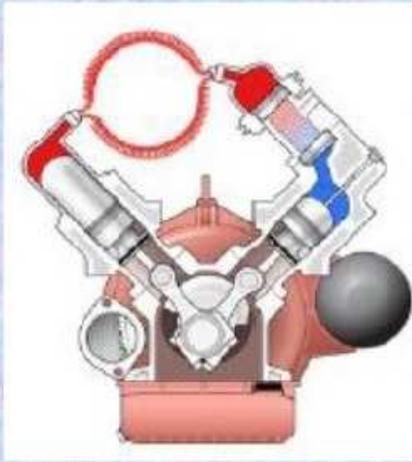
図-1 熱源温度から見たスターリングエンジンの市場

出典) スターリングエンジンの市場, NPOスターリングエンジン普及協会, 平成28年8月に加筆

# 【参考2】市販モデルの形態



MEC "Microgen" 1kW  
(本社:オランダ;生産 中国)



Cleanergy Engine 9kW  
(スウェーデン)



Q880  
Free Piston Stirling Engine  
Hermetically sealed  
Friction free  
Self contained

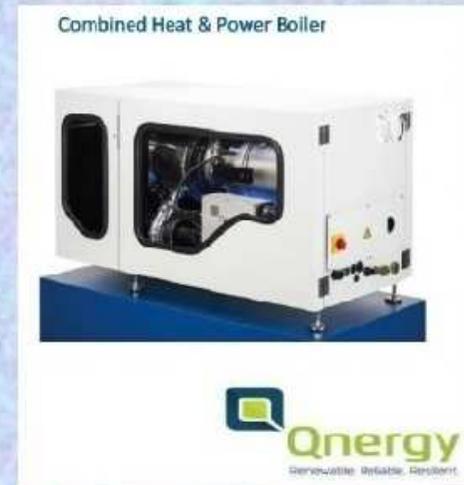
Qnergy 3~7kW 本社:イスラエル  
工場:アメリカ



スウェーデンのコックムス社 Mk.Iモデル



Cleanergy CHP  
ソーラーSE発電



Combined Heat & Power Boiler

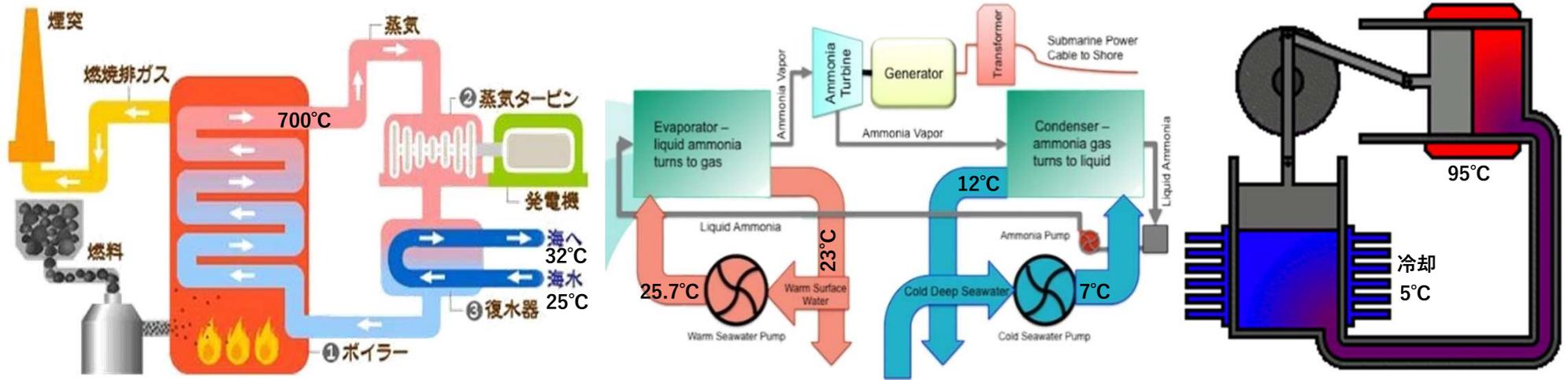


CHPの販売(未発表)

図-2 主な市販モデル

出典) スターリングエンジンの市場, NPOスターリングエンジン普及協会, 平成28年8月に加筆

## 2. 蒸気発電（ランキンサイクル）との違い、特徴



(1) 火力発電（ランキンサイクル）

(2) OTEC（高性能ORC/ランキンサイクル）

(3) スターリングエンジン

図-3 発電方式による構成の違い

表-1 エネルギー伝達過程の配分の違い

	ランキンサイクル		スターリングエンジン		
	超々臨界圧	高性能ORC	Sunpulse500	開発目標	
高温側-低温側温度 (°C)	700-32	25.7-7	180-40	95-5	
作動媒体 (沸点°C)	水 (100)	R-245fa (15.3)	空気	ヘリウム	
カルノー効率 (理論最大)	68.5%	5.6%	30.5%	24.0%	
入熱媒体	排ガス	15.0%	0.0%	0.0%	
	熱伝導、放射、その他	5.0%	12.0%	46.0%	36.8%
	水温上昇 (復水器)	0.0%	1.8%	0.0%	0.0%
	蒸発潜熱 (復水器)	14.1%	80.9%	0.0%	0.0%
	蒸気温度上昇	24.8%	3.1%	41.6%	49.5%
電力 (発電効率)	41.1%	2.2%	12.2%	13.7%	
機械効率 (発電効率/カルノー効率)	60.0%	40.0%	40.0%	57.0%	

下がらない！

↑ ランキンサイクルの動力源は蒸発/膨張（圧力）により、沸点以下の熱、潜熱は仕事に役立たない（エネルギーロス）。

← 沸点を超え高温にできる場合（火力発電）は潜熱によるエネルギーロスの割合は小さいが、熱源温度が低い場合（赤枠）はその割合は大きく、発電効率は低減する。

← スターリングエンジンは顕熱のみ利用し、沸点以下の熱や潜熱によるエネルギーロスはない。すなわち、スターリングエンジンは排熱など低温熱源の活用の際に、原理的アドバンテージを有する。

注) 青枠は「高温側-低温側」熱源温度差が小さいときの発電方式

# 【参考3】 低温熱源用発電装置の効率と価格

表-2 ORC機、カーリーナサイクル機、高性能ORC機の発電効率、価格の比較

	メーカー	名称 (型式)	熱サイクル	発電端出力	価格 (条件等)	万円 /kW	標準価格	標準比	定格出力時の温水・冷却水条件	発電効率
1	アドバンス理工(株)	高効率可搬型小型発電システム (ECOR-3-Ft)	ORC	3kW以上	実証中のため未設定				温水95°C、50 l /min 冷却水15°C、50 l /min	2.2%
2	アネスト岩田(株)	小型バイナリー発電装置	ORC	6.5kW	1,000万円以内	181.8	80.9	2.2	温水90°C、190 l /min 冷却水25°C、180 l /min	1.2%
3	(株)IHI	小型バイナリー発電装置 HRシリーズ (HR20W)	ORC	非公開	1,000万円 + $\alpha$	66.7	67.6	1.0	温水95°C、467 l /min 冷却水20~30°C、667 l /min	2.8%
4	Electra Therm社	コンパクトモジュラー型温泉発電装置	ORC	35kW	1,800万円 + $\alpha$	90.0	64.2	1.4	温水90°C、750 l /min 冷却水15~20°C、840 l /min	1.7%
5	(株)神戸製鋼所	マイクロバイナリー発電システム (MB-70H)	ORC	72kW	2,800万円 (全体8,380万円)	62.2 186.2	55.4	1.1 3.3	温水95°C、1250 l /min 冷却水15~20°C、2000 l /min	2.1%
7	地熱技術開発(株)	カーリーナサイクル発電システム (KCS-34g-50)	KCS	87kW	8,700万円 (冷却塔含む)	174.0	54.4	3.2	温水98°C、388 l /min 冷却水14°C、1200 l /min	8.0%
10	富士電機(株)	温泉バイナリー発電装置 (熱水熱源)	ORC	125kW	要問い合わせ				温水95°C、1820 l /min 冷却水20°C、2000 l /min	2.5%
13	第一実業(株) (Access Energy)	Thermapower125XLT	ORC	125kW	10,000~12,000万円 (周辺工事費含む)	120.0	48.0	2.5	温水99°C、1000 l /min 冷却水15°C、4000 l /min	4.5%
14	地熱技術開発(株)	カーリーナサイクル発電システム (KCS-34g-M)	KCS	200kW~	100~130万円/kW (周辺工事費含む)	130.0	39.4	3.3	温水90°C、1667 l /min 冷却水18°C、3340 l /min	4.3%
15	川崎重工業(株)	グリーンバイナリータービン (KFR-2)	ORC	250kW	条件次第で変動要相談				温水98°C、3471 l /min 冷却水20°C、8348 l /min	2.6%
19	(株)ゼネシス	久米島OTEC用	高性能ORC	1,250kW	約31億円	248.0	30.5	8.1	温水25.7°C、207,000 l /min 冷却水7°C、162,000 l /min	2.2%
20	(株)ゼネシス	Mini-DTEC	ORC	100kW	400万円	40.0	48.0	0.8	温水90°C、1,950 l /min 冷却水30°C、1,900 l /min	1.8%
21	(株)ゼネシス	久米島OTECカスタマイズ	高性能ORC	1,250W	7.4億円	59.2	30.5	1.9	温水95°C、3,600 l /min 冷却水7°C、21,000 l /min	12.4%

出典) 一般財団法人エンジニアリング協会, 平成29年9月25日から100°C未満を抽出、加筆。数値は推定に基づき保証されない。

一般的ORC機の発電効率は1.2%~4.5%と低い。  
カーリーナサイクル機で8.0%、高性能ORC機で12.4%と改善されるが、価格は高い。

低温熱源用の適当な機種がない

# 【参考4】低温スターリングエンジンの特徴

表-3 エネルギー伝達過程の配分の違い

長所 (高温/低温スターリングエンジン)	低温スターリングエンジン
1 熱効率が良い (エネルギーロスを抑えればカルノー効率に近い) …	<b>低温熱源で本領を発揮</b> する
2 独立/分散型に適する	… 並列が容易。多数配置し <b>大規模発電に対応</b> できる
3 排ガスがない	… 屋内配置も可能 (ヘリウムは漏れても安全)
4 静粛性に優れる	… 屋内配置も可能 (摩擦を減じ、ゆっくり動かす)
5 長寿命 (20~60年)	… 同左、ただし伸縮式密閉装置は短い
6 メンテナンスが簡単	… メンテナンスフリー (熱源の汚れに注意)
7 急激な負荷変動に鈍感	… 運用が容易 (ノッキングなどはない)
8 可逆サイクル	… 高性能な冷蔵庫 (場所によっては役に立つ)
9 熱源 (温度/量) を選ばない … 地域資源に応じて対応できるうえに⇒	… 低温側に海洋深層水冷熱、高温側に集熱温度を下げた太陽熱を用い、 <b>低コスト、無尽蔵なベースロード電源</b>
短所 (高温スターリングエンジン)	低温スターリングエンジン
1 出力あたりでは重くかさばる	… 固定される発電所では問題は少ない
2 高出力を発生するのが難しい	… 複数並列すれば解決する
3 急激な出力変化を生み出すのが難しい	… 複数あれば解決できる
4 材料強度、熱効率で制約される 瞬間的にしか高温にならない内燃機関や蒸気温度で決まる蒸気機関と違い、常に高温の加熱部は材料強度、熱効率で制約される	… 低温スターリングエンジンでは問題にならない
5 作動気体のシールが難しい	… <b>低温、低圧で対応できる</b>

低温スターリングエンジンは短所を克服し、長所を継承する。

### 3. 開発動向

低温スターリングエンジンでは、以下の6機種が稼働中、若しくは販売されたが、いずれも直近であり、本格的事業化に至っていない。

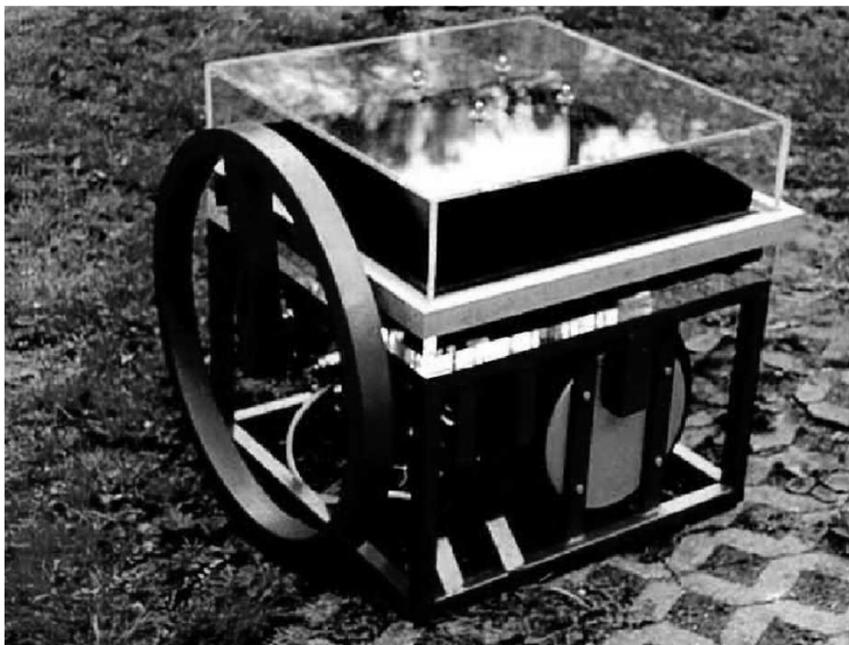
表-4 既往の低温スターリングエンジン

稼働	名称 (目的)	出力	製造
1993年頃	太陽熱利用水ポンプ用エンジン*1	50W	Sunmachine社
1997年～	太陽熱駆動用水ポンプ*2~4	100W	BSRsolar社
2012年～	SunPulse Water (in Tamera)*4	150W	Sun-Orbit社
2012年～	Sunpulse150*5~6	150W	//
2013年～	Sunpulse500*7~10	500W	//
2017年～	Sunpulse_plus*11	1,000W	//

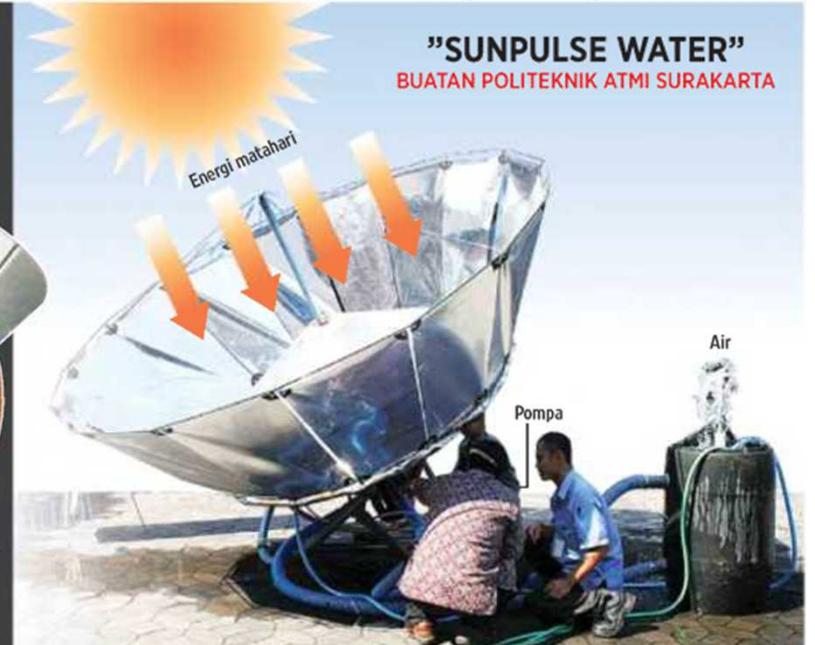
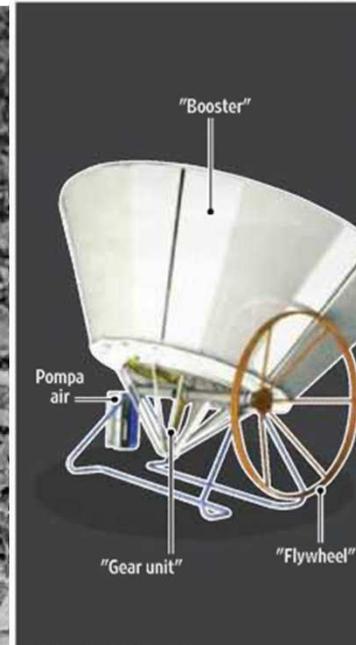
出典はp.10



(2) 太陽熱駆動用水ポンプ\*2~4, 100W, BSR社



(1) 太陽熱利用ポンプ用エンジン\*1~2, 50W, Sunmachine社



(3) SunPulse Water \*5, 150W, Sun-Orbit社



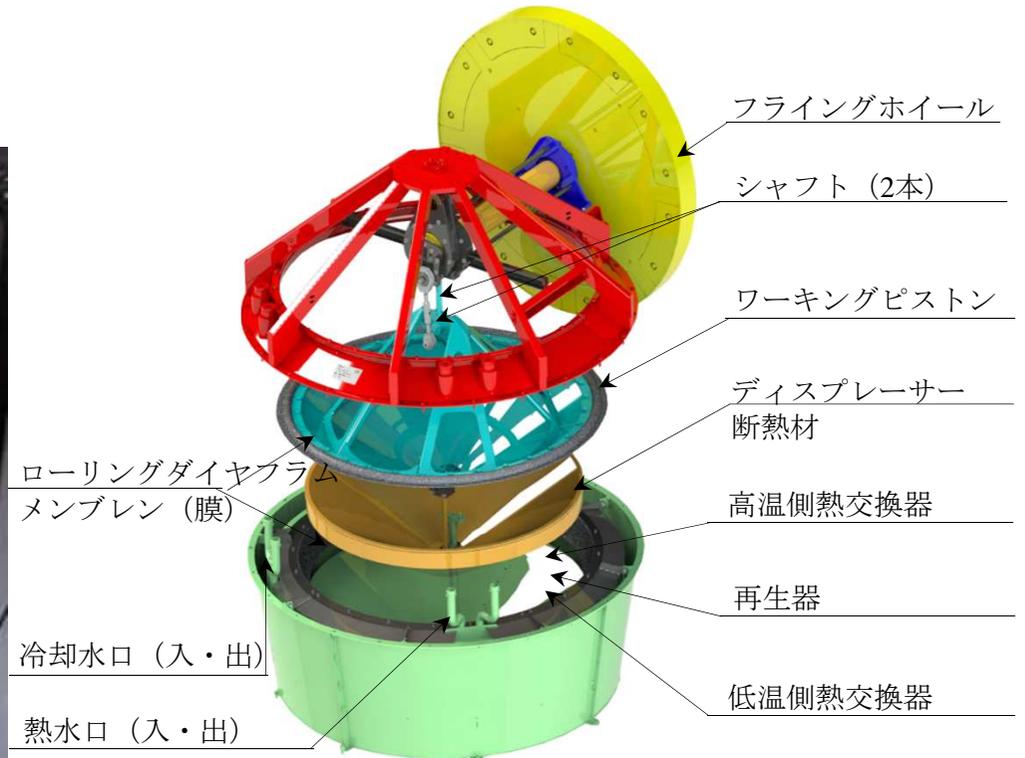
(4) Sunpulse150, 発電150W, Sun-Orbit社\*6



(4-2) エネルギー自給システム, Sun-Orbit社\*7



(5) Sunpulse500, 発電500W, Sun-Orbit社\*8~9



(5-2) Sunpulse500 分解図\*8



Renewable energy  
Solar Village, Tamera - Portugal

(5-3) Sunpulse500稼働状況\*10

(5-4) Sunpulse500 in Tamera\*11



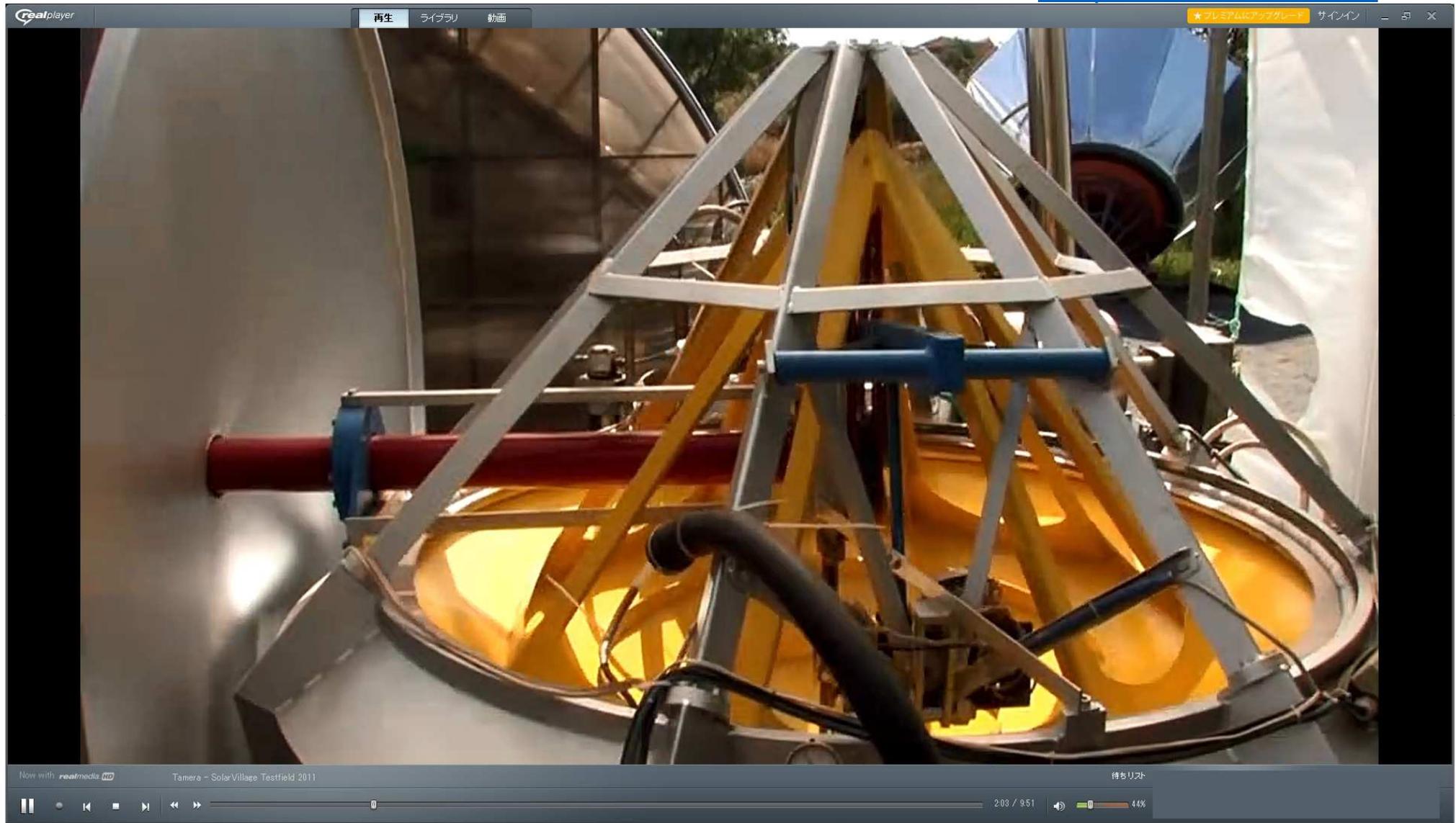
仕様はp.10

(6) Sunpulse\_plus,  
発電1,000W, Sun-Orbit社\*12



Physicist / Inventor /  
Professor :  
Jürgen Kleinwächter \*13, 14  
ユルゲン・クライン・ワシター

# 【参考5】 百聞は一見にしかず



Sun-Orbit社HP（現在閉鎖中）：[www.sun-orbit.de/](http://www.sun-orbit.de/), [www.sun-orbit.de/sunpulse-500/](http://www.sun-orbit.de/sunpulse-500/), [www.sun-orbit.de/sunpulseplus/](http://www.sun-orbit.de/sunpulseplus/),  
Sunpulse 500 What is necessary to Build Your Own Stirling Engine by Olivier Paccoud：  
<https://www.youtube.com/watch?v=mpBaOntXANI&list=PLTANLRFo7O7M0cx5WxKPQ9cUwvm79xEov&index=1>  
Sunpulse 500: Why Low Temperature Stirling Engines: Theory and Possibilities by J. Kleinwächter：  
<https://www.youtube.com/watch?v=CK1bYvhewQ4&list=PLTANLRFo7O7M0cx5WxKPQ9cUwvm79xEov>

# 【参考6】 Sunpulseシリーズの仕様

表-5 Sunpulseシリーズ仕様

		Sunpulse Water	Sunpulse500	Sunpulse_plus
発売年		2004年～, 2012年～	2013年～	2017年～(?)
外形	直径 (cm)		130	- (未公表)
	高さ (cm)		130	-
フライング	直径 (cm)	183	100	-
	高さ (cm)		114	-
パワーピストン	直径 (cm)	122	122	-
	ストローク (cm)	6.35	200	-
ディスプレイ	直径 (cm)	122	122	-
	ストローク (cm)	6.35～15.0	-	-
高温側熱源 (°C)	150～200°C (180°C)	150～200°C (180°C)	60～220°C (140°C)	
( ) 標準値	太陽光コレクタ (150°C) 又は加熱された植物油 (200°C)			
低温側冷却 (°C)	25～ (40°C)	25～ (40°C)	25～ (40°C)	
( ) 標準値	一体型ポンプによる水冷			
作動媒体	空気	空気	-	
内圧	大気圧 ± 100mb	-	-	
軸動力 (W)	-	600	-	
電気出力 (W)	100	500	1,000	
ポンプパワー (W)	-	400	-	
電気効率 (%)	-	12%	-	
コージェネレーション効率 (%)	-	90%	-	
推定寿命	20年以上	20年以上	-	
価格	-	4,000 € (53万円)	10,000\$ (110万円)	
標準: 80～110万円/kW (出力の0.82乗則適用)		45万円～62万円	80万円～110万円	
その他 (メーカー、熱源、発電効率などの違いによる)		発電コストは太陽光発電の1/2 (SunOrbit社)	←当方の狙いは石炭火力以下	

表-5にSunpulse Water、Sunpulse500、Sunpulse\_plusの性能、価格を示す。

Sunpulse\_2k、Sunpulse\_4kは設計中、Sunpulse\_10k、Sunpulse\_20kは計画中のことで仕様は未開示である。

出典)

\*1 模型作りでまなぶスターリングエンジン, 濱口他, オーム社, 平成21年4月

\*2 Muriel ALAPHILIPPE, Pascal STOUFFS: Machines thermiques motrices de petite puissance adaptées à la conversion thermodynamique d'énergie solaire : classification, exemples, perspectives.

\*3 スターリングエンジンによる排熱発電の将来, 濱口和洋, 電気学会誌136 巻9 号 (2016)

\*4 Weitere Formen hochthermischer Solarenergie Nutzung (I) Stirling-Motor: www.buch-der-synergie.de/c\_neu\_html/c\_04\_37\_sonne\_hochtemperatur\_stirling.htm,

\*5 Solarenergie zum Selberbauen: www.deutschlandfunk.de/solarenergie-zum\_selberbauen.676.de.html?dram:article\_id=21542

\*6 SUNPULSE 150 - the mobile solar water pump : https://www.jovoto.com/projects/greenpeacechallenge/ideas/32573

\*7 http://www.sun-orbit.de/

\*8 www.sun-orbit.de/sunpulse-500/

\*9 Youtubeに掲載されているものはp.11参照

\*10 www.solarheatengines.com/2012/01/10/tamera-video-of-sunvention-sunpulse-engine/

\*11 Ecovillages: Social Innovations towards a Regenerative Culture: https://homedocbox.com/Landscaping/73129330-Ecovillages-social-innovations-towards-a-regenerative-culture.html

\*12 www.sun-orbit.de/sunpulseplus/

\*13 http://www.sunpod.de/tag/jurgen-kleinwachter/

\*14 https://www.youtube.com/watch?v=j2cs0TC4DDs

数値はSunOrbit社HPあるいは紹介者HPによる。当方では確認していない。

# 4. Sunpulse Water, Sunpulse500の問題点

## 問題点

### 太陽熱の集熱

- ① 反射板、躯体の制御が不合理
- ② レシーバーで反射、伝熱、放射、対流などに問題
- ③ 熱伝導の場所（再生器）が違う

### 熱源媒体

- ④ 高温側に漏れ1がある
- ⑤ 低温側に漏れ2がある
- ⑥ 低温側に漏れ3がある
- ⑦ 作動気体の流路が狭くなっている

### 冷却水

- ⑧ ワーキングピストンと一体構造 慣性力、つなぎ方など問題がある
- ⑨ 断熱が不十分

### 熱交換器

- ⑩ 材質（アルミ）、面積、形状、長さなど不十分
- ⑪ 断熱が不十分

### 再生器

- ⑫ 材質（アルミ）、面積、形状、長さなど不十分
- ⑬ 断熱が不十分

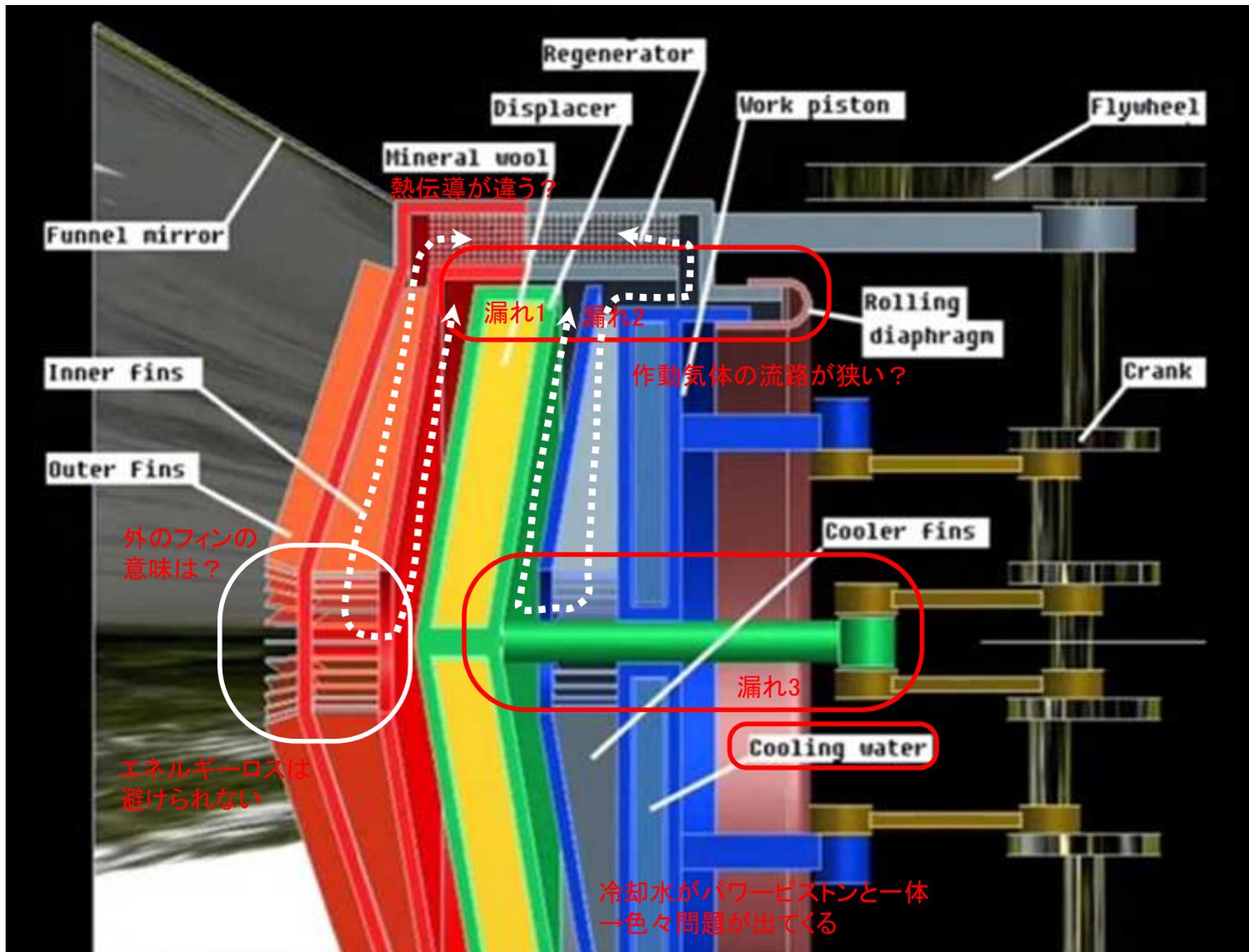
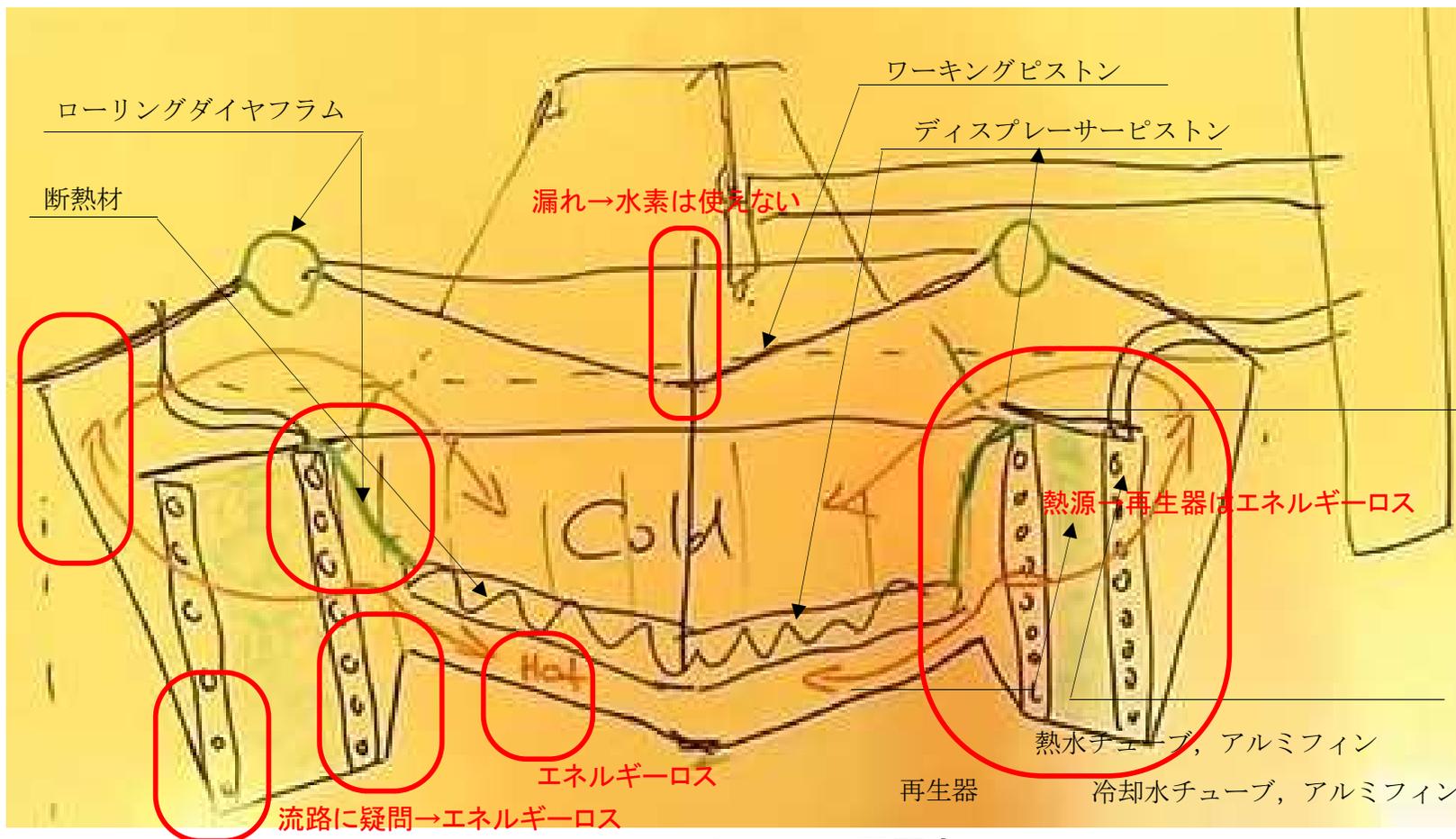


図-4 Sunpulse Waterの問題点

Sunpulse Waterには上図および右脚注に示す問題点がある。具体的には、太陽熱の集熱では集熱効率が悪い、熱源媒体ではエネルギーロスが大きい、冷却水ではエネルギーロスが大きい、熱交換器では出力の低下を招く、再生器では熱効率の低下を招くなどで、改善の余地がある。



Sunpulse500では前  
図Sunpulse Waterの  
改良を試みている。

作動期待の漏れは少  
なくなっているが、  
依然残っている。

熱源、熱交換器、再  
生器、作動気体の断  
熱は不十分。

作動気体の流路形状  
が変形すること、  
不要な乱れが生ずる  
こと、  
熱交換器、再生器、  
ローリングダイヤフ  
ラムなどで左図の問  
題点があり、  
エネルギーロス、出  
力低下、発電効率の  
低下は避けられない。

図-5 Sunpulse500の問題点

#### 問題点

#### 熱源（高温側，低温側）

① 断熱が不十分

#### 作動媒体

- ② 熱交換器を不要に通過する
- ③ 作動気体の流路が狭くなっている
- ④ 流路が不必要に拡幅、変形
- ⑤ 低温側から漏れがある
- ⑥ 断熱が不十分

#### 熱交換器（高温側，低温側）

⑦ 流路が狭く、エネルギーロスが大きい

⑧ 材質（アルミ）、面積、形状、長さなど不十分

⑨ 断熱が不十分

#### 再生器

- ⑩ 材質（アルミ）、面積、形状、長さ、熱容量など不十分
- ⑪ 熱源、熱交換器と接触、断熱が不十分
- ⑫ 配置上の問題

#### ローリングダイヤフラム

- ⑬ 中間のローリングダイヤフラムは納まりが難しい
- ⑭ ワーキングピストンのローリングダイヤフラムは必要以上に大きい
- ⑮ 熱伝導は避けられない（特に中間部）

# 5. 改良方法/目標効率

Sunpulse WaterやSunpulse500はエネルギーロスが多い。表-6にこれらの機械効率への影響、改良（赤字）と機械効率の目標および技術的可能性を仮定した。Sunpulse500の現状の機械効率40%に対し、目標は57%（火力発電に対する競争力確保には55%、技術的可能性は96%程度）と設定した。これらを改善した案を図-6, 7に、材料/仕様を表-7に示す。

(2) 伝達エネルギー量を最大化		効果（機械効率）		
1) 熱源		現状	目標	限界
① 高温側		100%	100%	100%
② 低温側		100%	100%	100%
③ 途中のエネルギーロス		95%	96.9%	99.8%
	⇒漏れをなくす			
	⇒伝熱ロスを減少	断熱材		⇒徹底
		温度差を小さく		⇒配置
		圧力差を小さく		⇒最適化
2) 熱交換器性能（高温側、低温側）				
A. 熱源→フィン→プレート				
① 伝熱面積		95%	96.9%	99.8%
	大きく取りたいが、死容積を増やさない			⇒最適化
② 材料（熱伝導率）		95%	96.9%	99.8%
	銅が一番良い？			
③ 流速		95%	96.9%	99.8%
	断面積←最適化			
	流速、熱伝達率、抵抗⇒流れのシミュレーション⇒最適化			
B. プレート→フィン→作動気体				
④ 伝熱面積		100%	100%	100%
	上に同じ			
⑤ 材料（熱伝導率）		95%	96.9%	99.8%
	上に同じ			
⑥ 流速		95%	96.9%	99.8%
	上に同じ			

表-6 改良と効果 (その1)

1. 発電効率、発電量の改善	【参考】改善効果		
(1) 仕事量を最大化する	現状	目標	将来
1) 圧力	100%	100%	100%
	⇒出力/コストとトレードオフ⇒最適化		現状も最適化済み
	⇒実験機で最適値を確認		
2) 高温側、低温側ストローク、ストローク比	100%	100%	100%
	⇒出力を最大化 ⇒最適化（エネルギーロスと関係なし）		
	⇒実験機で最適値を確認		
3) 位相差	100%	100%	100%
	⇒実験機で最適値を確認		現状も最適化済み
	⇒エネルギーロスと直接的関係なし		

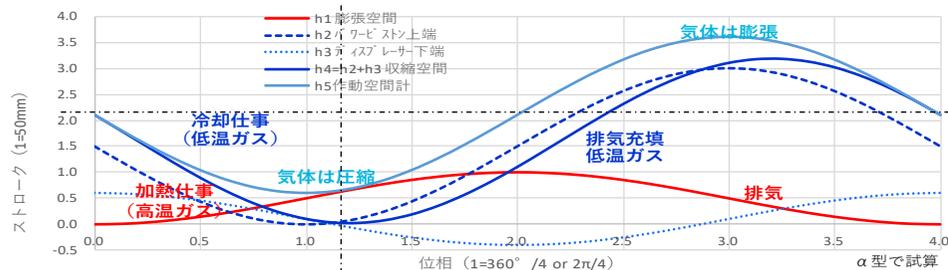


図 ディスプレーサー、パワーピストンのストロークと位相

(その3)

3) 再生器性能			
① 熱蓄積→伝達量	100%	100%	100%
② 蓄積できる温度幅	100%	100%	100%
③ 温度差	100%	100%	100%
④ 伝熱面積	95%	96.9%	99.8%
⑤ フィンの形状	95%	96.9%	99.8%
⑥ 材料 (熱伝導率)	95%	96.9%	99.8%
⑦ 流速	95%	96.9%	99.8%

死容積を増やさない

必要な熱容量 (銅の塊?)

熱伝達率

抵抗?

最適化

### (3) 抵抗、エネルギーロスを最小化

#### 1) 熱媒体 (気体) 抵抗

① 気体種類	100%	100%	100%
② 流速	95%	96.9%	99.8%
③ 動粘性係数	100%	100%	100%

⇒ダクト形状、流速の最適化

#### 2) 熱源 (液体) 抵抗

① 水	95%	96.9%	99.8%
② 接続具	95%	96.9%	99.8%

⇒水路形状、流速の最適化

#### 3) 機械的抵抗

① 摩擦	100%	100%	100%
② 偏心	95%	96.9%	99.8%

(その4)<sup>15</sup>

③ 摩擦	95%	96.9%	99.8%
④ 劣化	100%	100%	100%
⑤ ストローク長	100%	100%	100%
⑥ 圧力	100%	100%	100%

⇒諸元の最適化

#### 4) 熱伝導ロス

① 作動気体の漏れ	95%	96.9%	99.8%
② 断熱材	95%	96.9%	99.8%
③ ローリングダイヤフラム	95%	96.9%	99.8%

漏れを無くす⇒効率100%の原理的を目指す

配置で、温度差を小さく

機械効率

40%

57%

96%

温度差、圧力差を小さく

発電効率

10%

14%

23%

(熱源95°C=5°C)

↑現状

石炭火力への価格競争力の目安 13% < ↑十分可能

日本のものづくり技術でチャレンジ

将来的目標 ↑

#### 2. 出力当たりの体積の縮小

① 前項の発電効率の改善による体積あたりの出力の増加
② シリンダ径に対する熱交換器能力向上
③ シリンダ径に対するピストン、熱媒体の移動距離、抵抗の最適化
④ 扱いやすさ

#### 3. 製作費の低減

熱源温度を100°C未満、作動媒体気圧を数気圧以下に限定することで、シリンダ、ピストン、躯体など仕様が緩和され、製作費を低減できる。量産時には、低温・低圧なら利用可能で、加工が容易なプラスチックなどの材料を用いることで、製作費の低減が図れる。

# 【参考7】 低温スターリングエンジン（変形α型）の概略設計

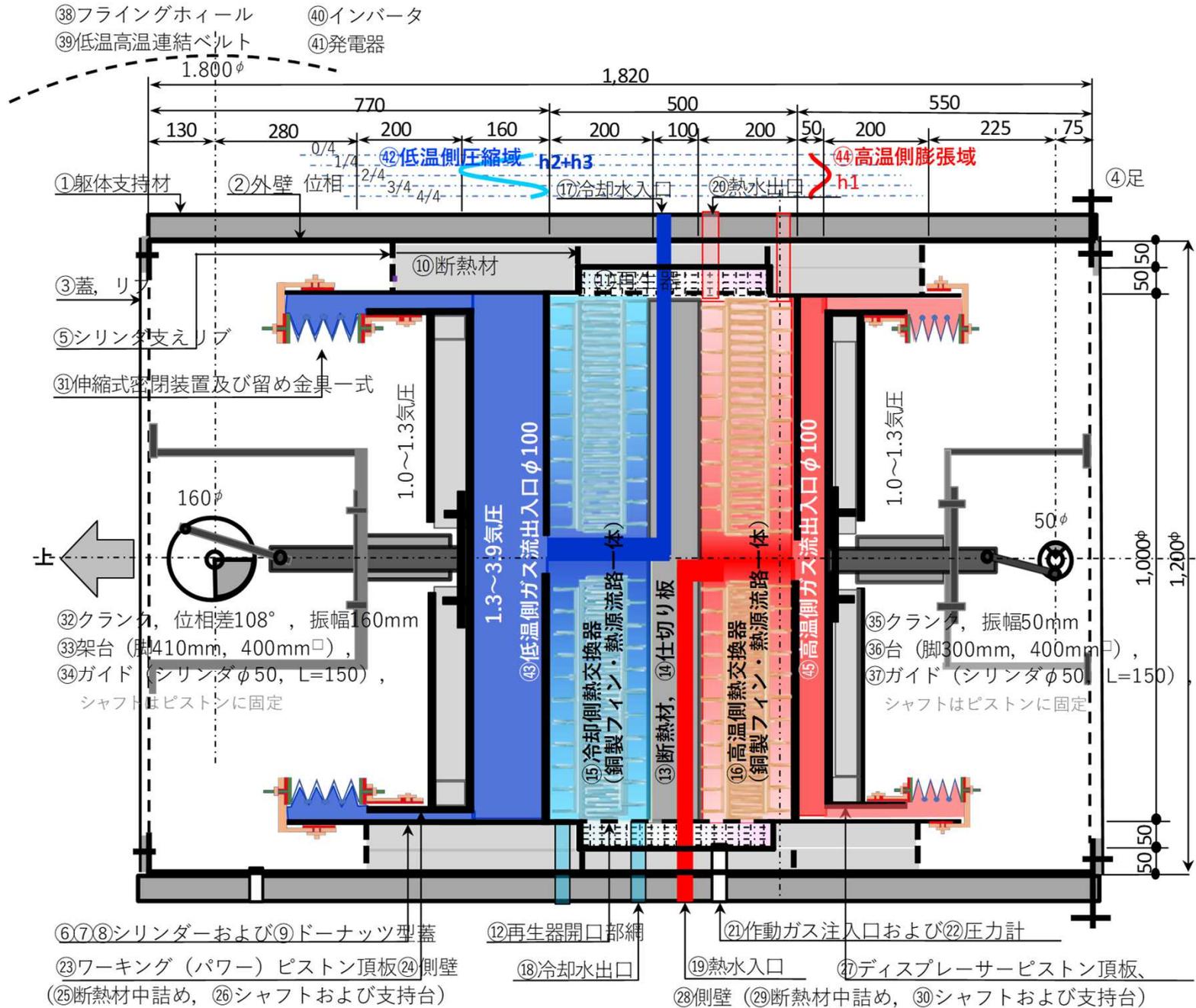


図-6 低温スターリングエンジン（変形α型）断面図（特許出願中）

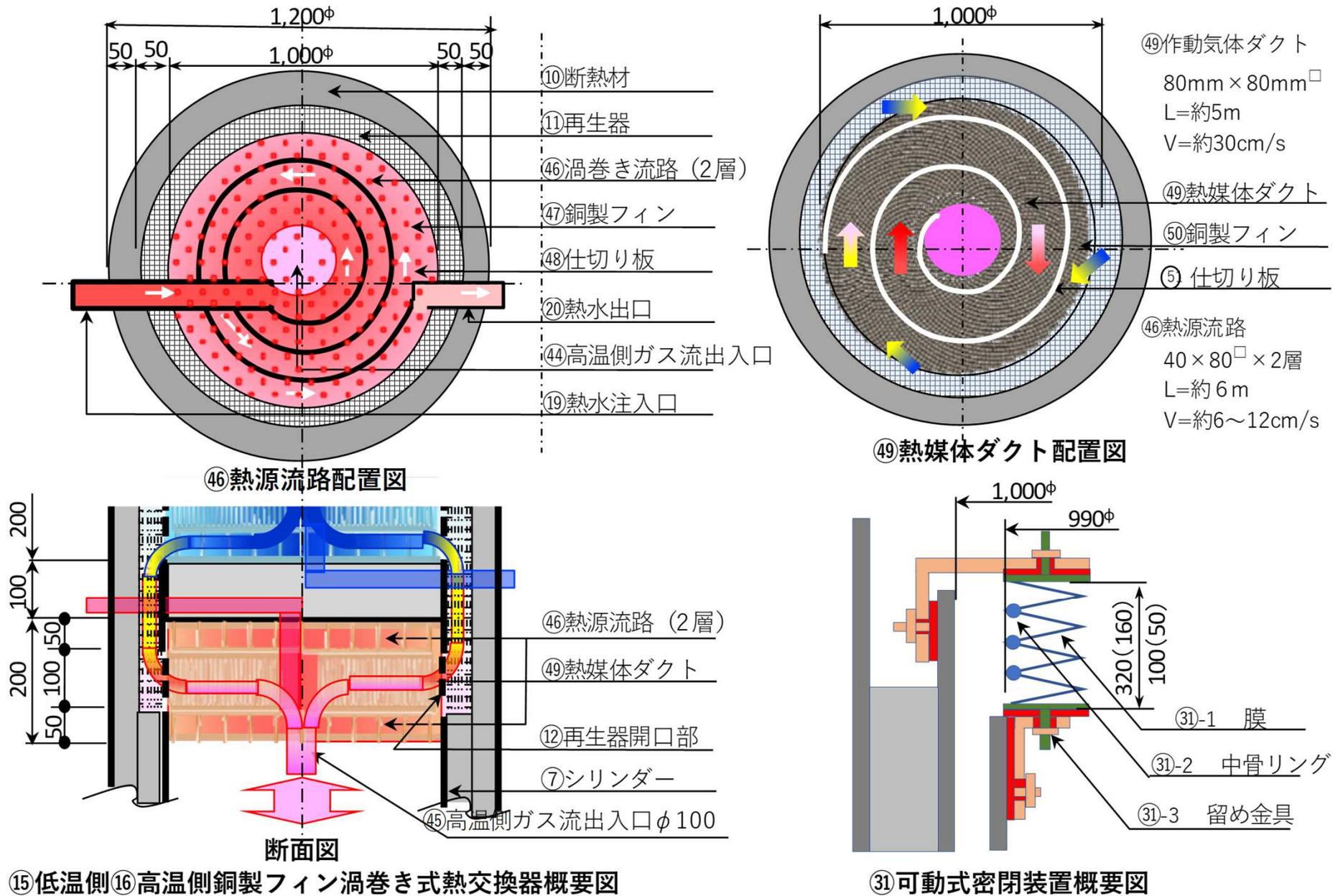


図-7 低温スターリングエンジン (変形α型) 詳細図

項目	仕様
①躯体支持材	[-100X50X5X7.5 L=1,820×4
②外壁	鋼板φ1,200 (L1=3,770), t=0.3, L2=1,820×1 端部溶接
③シリンダ支えリブ	L-25X25X3, L=200(φ1,200-φ1,000)×8, L=200(φ1,200-φ1,100)×8
④蓋, リブ	蓋φ1,200, t=1.0×2, リブ[-100X50X5X7.5 L=1,200×4
⑤足	リブ[-100X50X5X7.5×4と一体L=100mm×4
⑥シリンダ1	φ1,000, t=2.0, L=410×1 (低温部)
⑦シリンダ2	φ1,000, t=2.0, L=300×1 (高温部)
⑧シリンダ3	φ1,100, t=2.0, L=400×1 (再生器部)
⑨ドーナツ型蓋	φ1,100-φ1,000, t=2.0 ドーナツ型×2
⑩断熱材	Φ1,150 (3,613) × 1,060, Φ1,050 (3,299) × 400, × 250, t=50 各1
⑪再生器	銅製フィンφ1,100-φ1,000, t=50, L=3,299, H=400, n=82,500本
⑫再生器開口部	銅製網 φ1,000 (3.141) × 400
⑬断熱材	発泡ウレタン, φ1,000, t=100×1
⑭仕切り板	鋼板φ1,000, t=0.3×2
⑮低温側熱交換器	銅製フィン渦巻き式熱交換器 φ1,000 (0.785m <sup>2</sup> ) 詳細は図示
⑯高温側熱交換器	銅製フィン渦巻き式熱交換器 φ1,000 (0.785m <sup>2</sup> ) 詳細は図示
⑰冷水注入口	φ50, L=200×1
⑱冷却水出口	φ50, L=200×1
⑲熱水注入口	φ50, L=200×1
⑳熱水出口	φ50, L=200×1
㉑作動ガス注入口, ㉒圧力計	1~4気圧×2 ヘリウムガス 0.115m <sup>3</sup> (1気圧換算)
㉓低温側, ㉔高温側パワーピストン頂板、底板	φ1,000, t=3.0×2
㉕低温側, ㉖高温側パワーピストンスカート	鋼板L1=3,127, L2=200, t=2.0×1
㉗低温側, ㉘高温側パワーピストン断熱材	発泡ウレタンφ860, t=50, スカート2,702×200, t=50
㉙低温側, ㉚高温側シャフトおよび支持台	ピストン (ホーニング加工) φ49.8, L=400×2, 鋼板φ300, t=3×2
㉛可動式密閉装置及び留め金具一式	ジャバラ構造 φ960, H=160~320 (低温側), H=50~100 (高温側)
㉜低温側, ㉝高温側クランク	φ160 (低温側), φ50 (高温側) ×一式
㉞低温側, ㉟高温側架台	L-25X25X3 (脚410mm (低温側), 300mm (高温側), 400mm <sup>□</sup> )
㊱低温側, ㊲高温側ガイド	シリンダ (ホーニング加工) φ50, L=150
㊳フライホイール	φ1,800×1
㊴連結ベルト	歯車φ100×2, ベルト3,544mm
㊵インバータ	購入品一式
㊶発電器	10kW (想定), 参考: 熱源流量95°C (76m <sup>3</sup> /日) -4°C (130m <sup>3</sup> /日)
㊷~㊹, ㊺に材料はない。	
㊻銅製フィン (流路)	銅製H=50, 2.0mm <sup>□</sup> , n (流路) = 1,900本×2層 (ctc. 20mm)
㊼仕切り板 (流路)	銅製H=50, L=5.0m (2層), 低温側流路、高温側流路は同様な構造で最適化
㊽銅製フィン (ダクト)	銅製H=100, 2.0mm <sup>□</sup> , n1 (ダクト) = 49,000本 (ctc. 4mm)
㊾仕切り板 (ダクト)	銅製H=50, L=6.0m (2層)

## 表-7 材料/仕様集計

10kW級低温スターリングエンジン  
1基当たりの主な材料は  
鋼450kg, 銅330kg、総重量約800kg、  
材料費の目安は約100~200万円  
(仕様の違い)、  
製造原価は300~400万円、  
売価は500~600万円となる。

1kW換算価格は76~91万円/kWと  
(0.82乗則適用)、  
標準価格 100万円/kWより少し安く  
できる。

発電コストは太陽光発電はむろん、  
熱源を得れば、石炭火力発電より  
安価になる。

## 6. 用途/効果

### (1) 100℃未満、少量の熱源でもリーズナブルに発電し、エネルギーの自給に貢献

熱源の温度が低い/少量などから従来利用できなかった排熱でも手軽に発電できる**实用機**を提供する。安全、きれい、静寂、耐用年数が長い、製作/運用/メンテナンスが簡単、発電効率が良い（低コスト）など、スターリングエンジンの特徴を発揮する。

### (2) 低品位（低温、少量）の熱源でも立地条件に応じた分散/独立型発電を提供

熱源の温度/量や需要の多寡にかかわらず、立地条件に応じたリーズナブルな独立型発電が可能になる。

離島、山奥、砂漠、極地など、従来電力供給が経済的にできなかった箇所でも、地域の資源と需要に応じたリーズナブルな、**分散/独立型発電システム**を提供できる。

### (3) 非集光/低温型太陽熱温度差発電に組み込み、ベースロード電源を提供

温水、冷水をスターリングエンジンに注入/排出することより多数の並列が可能となり、大規模出力にも対応できる。次に示す非集光/低温型太陽熱温度差発電（STEC）に組み込むことで、安全性、安定性（24時間×365日、稼働率90%）、拡張性（無尽蔵）、負荷追随性、低コスト（モロタイ島の例で5円/kWh、95℃-5℃、出力10万kW）など、**ベースロード電源としての要件を全て満たし、内外のエネルギー問題に寄与**できる。

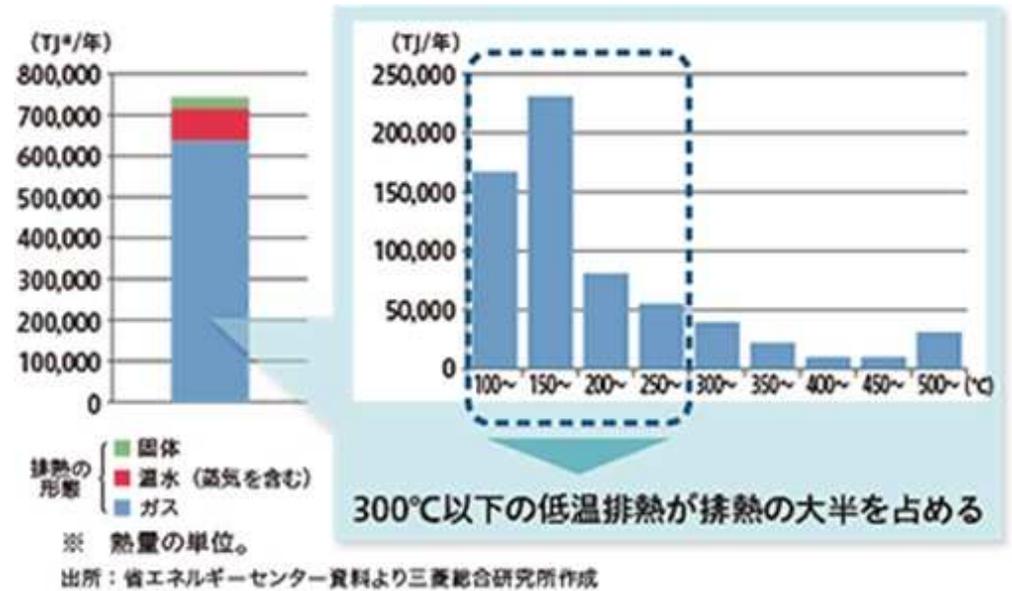


図-8 工場排熱の温度分布

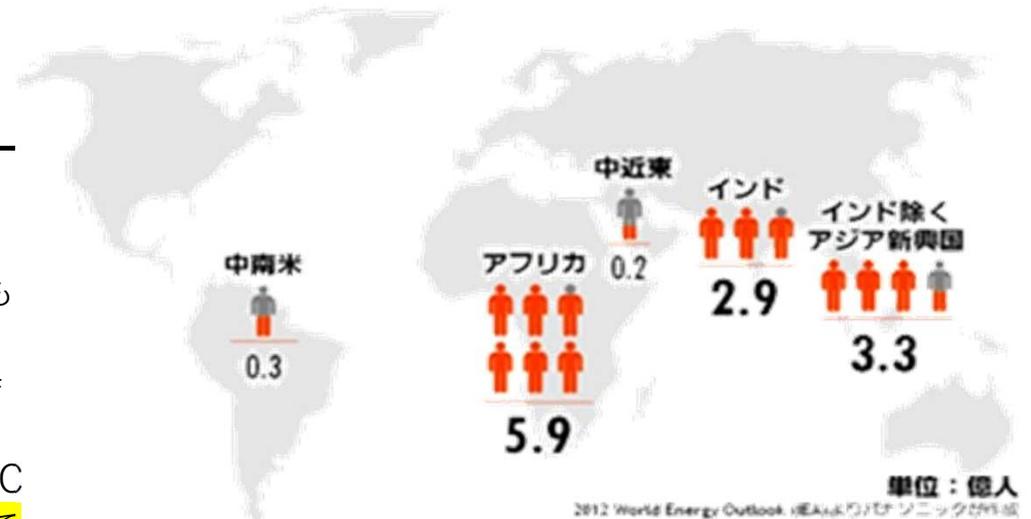
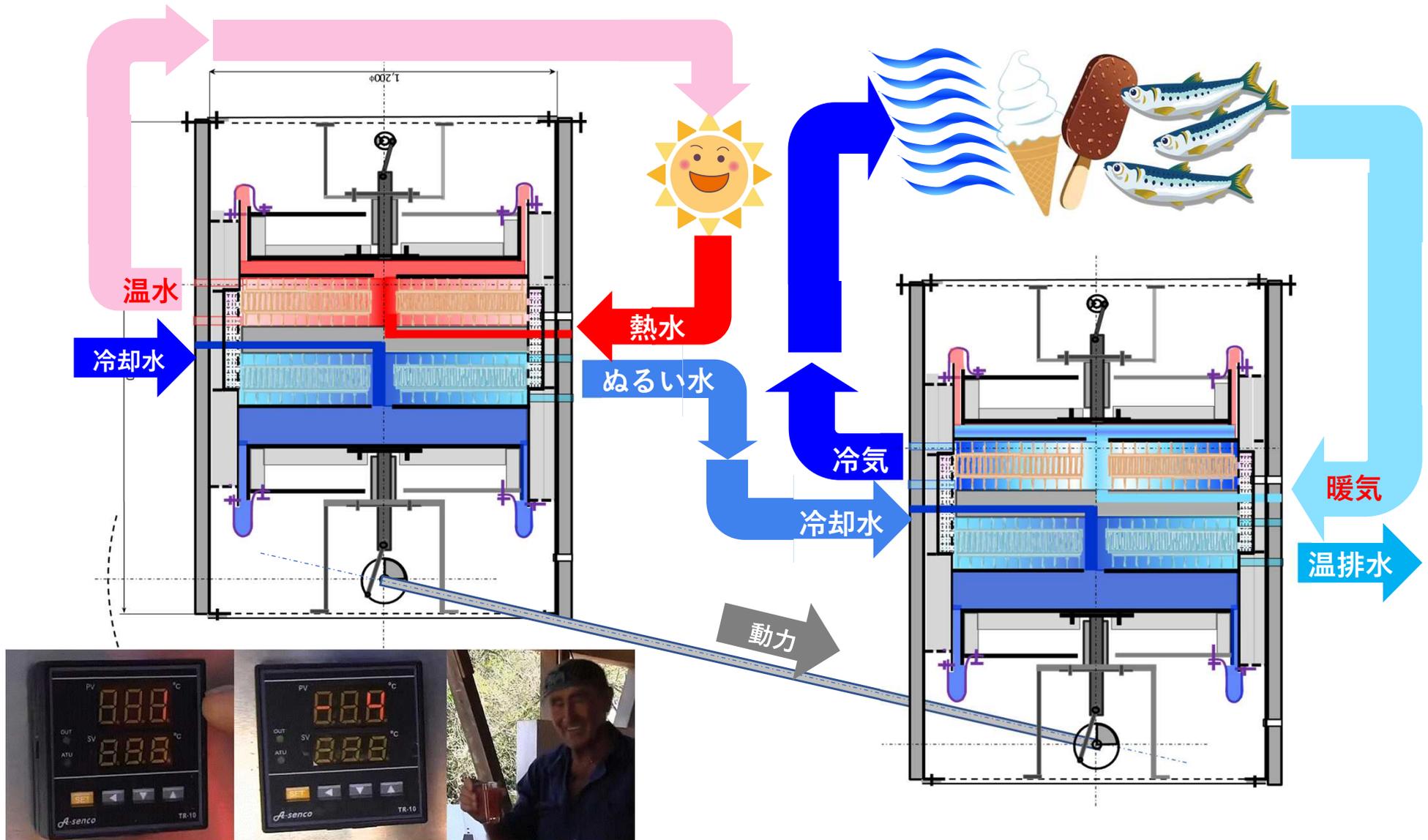


図-9 世界の無電化人口（2010）

# 【参考8】 排熱/太陽熱で空調/冷蔵/冷凍庫

低温スターリングエンジンは可逆サイクルで、電力/動力を与えれば高効率の空調/冷蔵/冷凍機になる。2台連結すれば、左は太陽熱から動力を得、右にその動力を連結し、空調/冷蔵/冷凍機として使える。電力を介さず、熱効率が向上する。

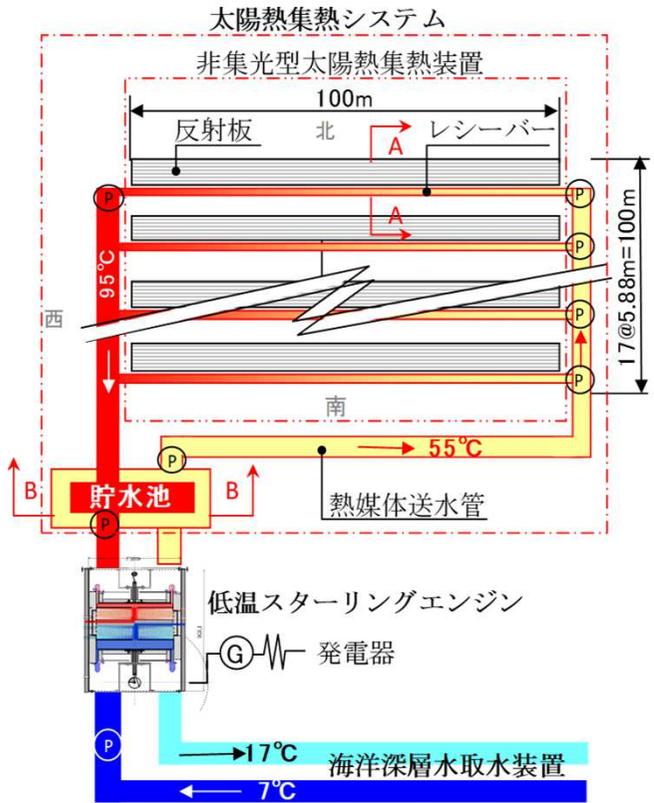


Tamera Villageには既に2台ありました。

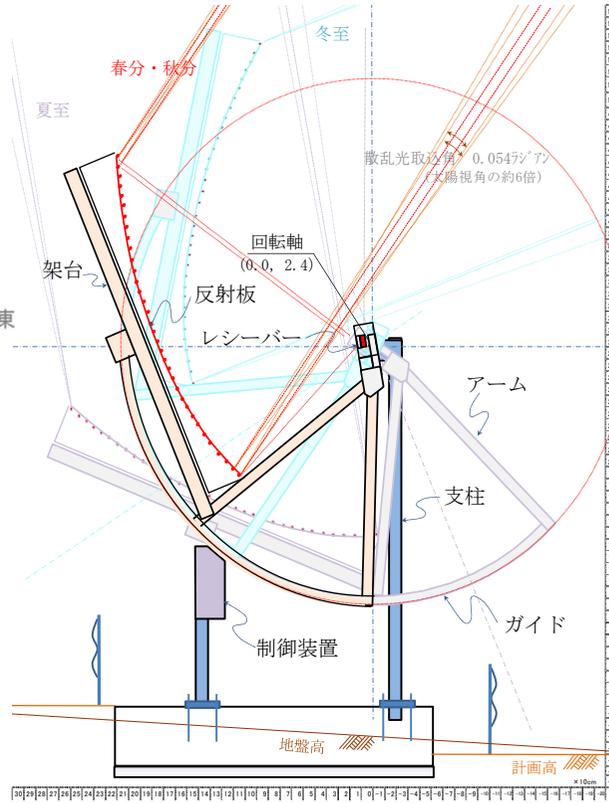
図-10 太陽熱で空調/冷蔵/冷凍庫

# 【参考9】 STEC概要

(Non-Concentrating and Low Temperature type Solar Thermal Energy Conversion)

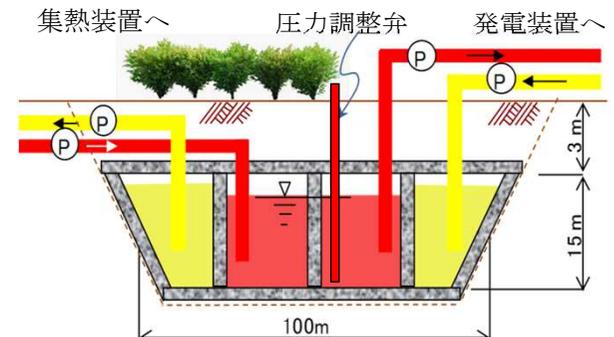


(1) 全体図  
図-11 STECの概要



(2) 非集光型太陽熱集熱装置  
断面図 (A-A)

集熱温度を下げると、反射面に平板を使い、製作/集熱コスト下げられる。大規模な貯水池では**3日間の水温低下は0.6°C**と実用的に貯水（蓄電）できる。STECは無尽蔵、低コストなベースロード電源となる。また、**世界にはSTECの適地は多い。**



(3) 貯水池断面図 (B-B)

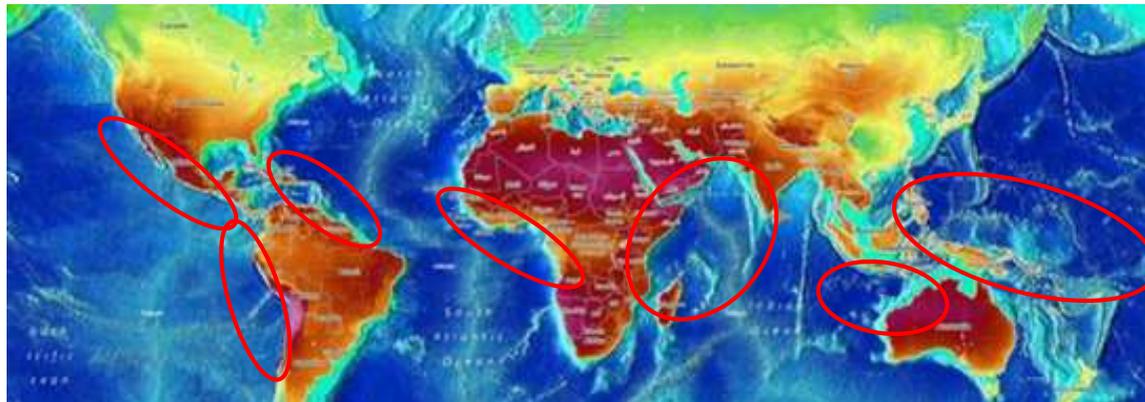
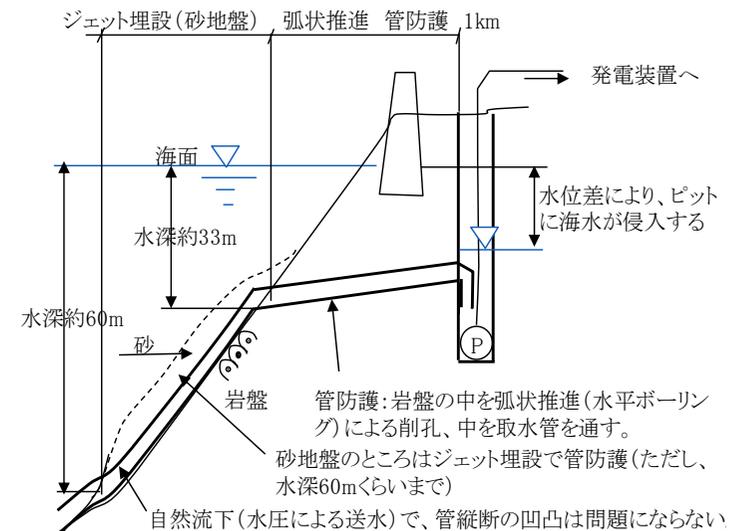


図-12 STEC世界の適地



(4) 海洋深層水取水装置