

自動車の熱管理技術と課題

トヨタ自動車(株)
車両基盤企画部 車両統合技術開発室
松野 孝充

自動車と環境

都市環境



地球環境

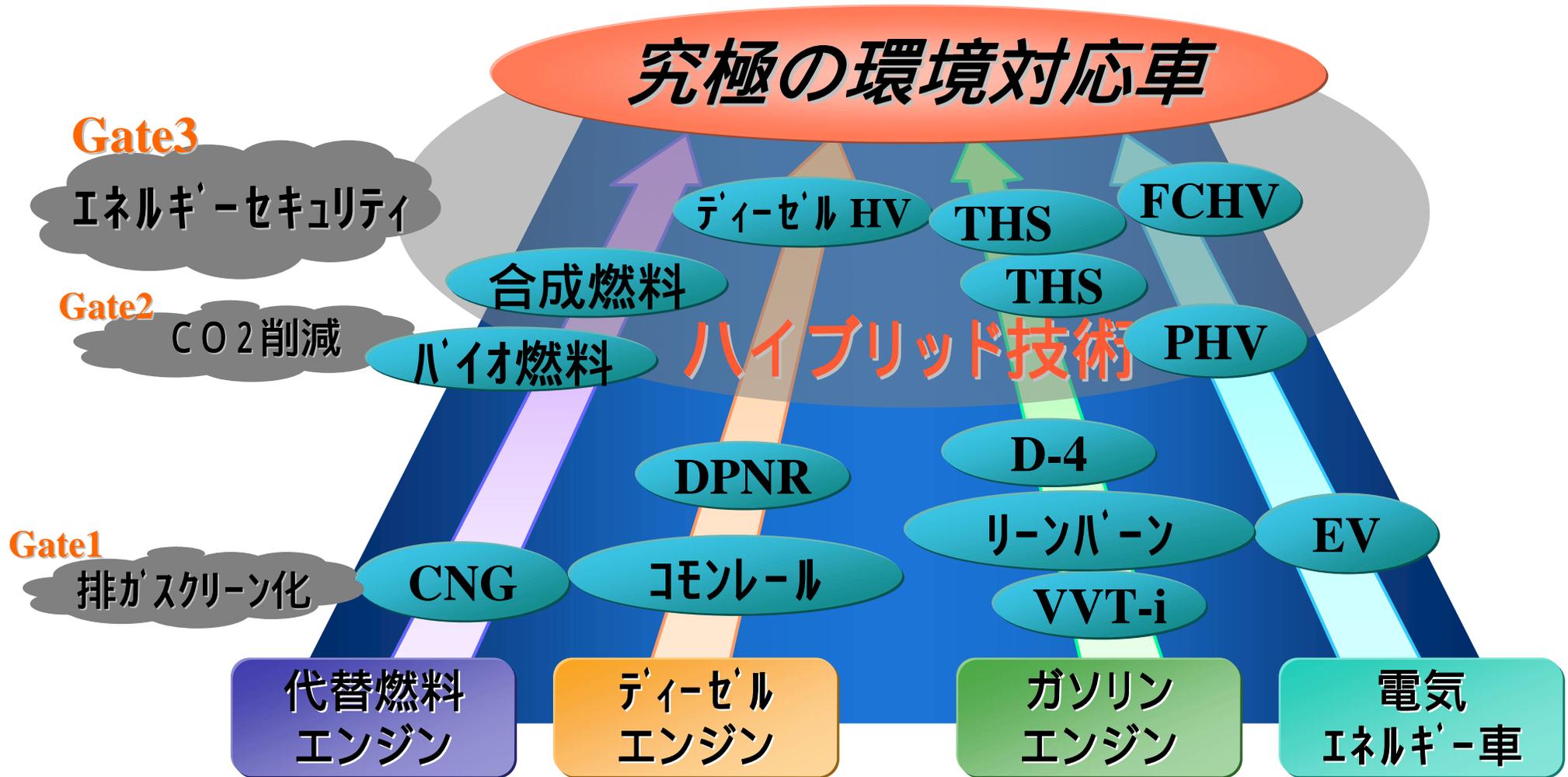


排気ガス
リサイクル



CO2
エネルギー需給

究極の環境対応車をめざして



CO2排出量規制

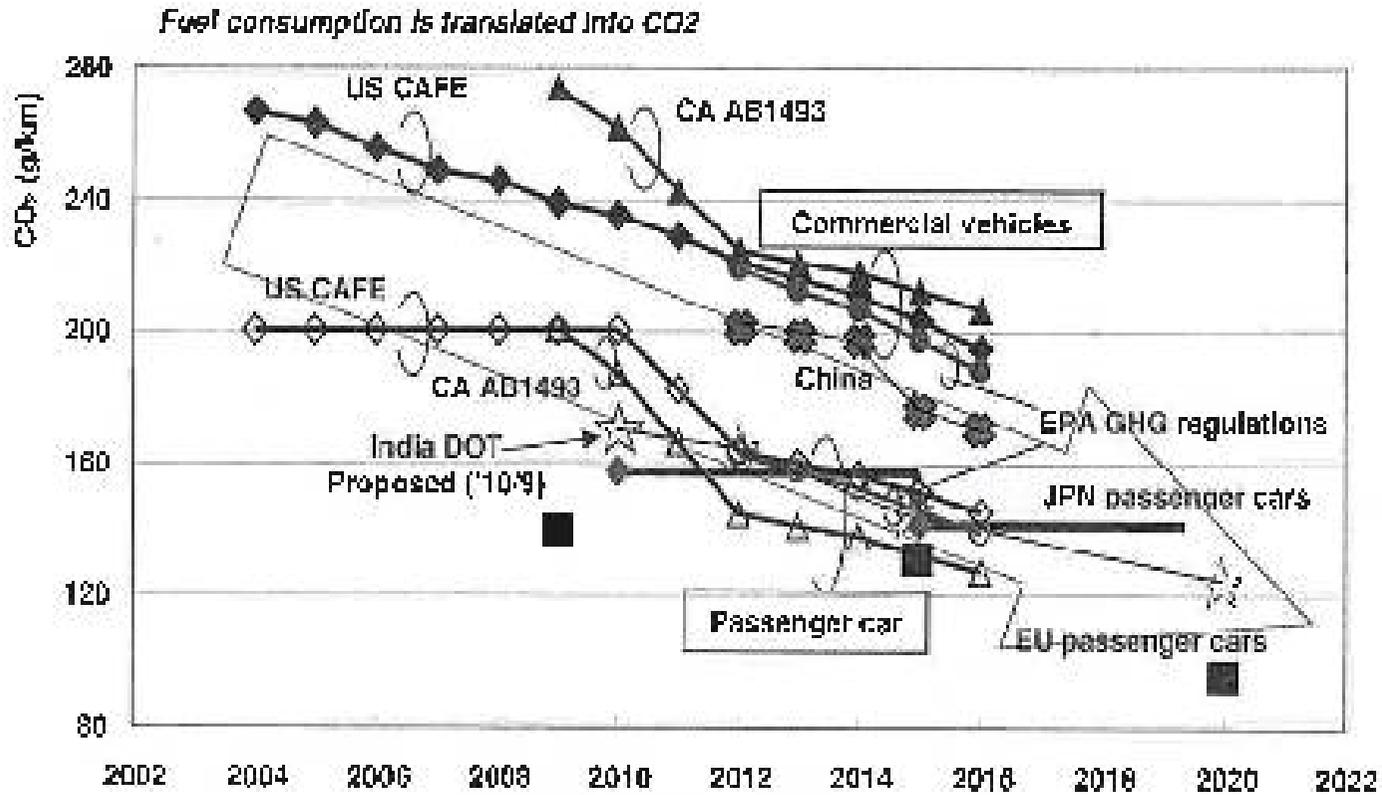


Fig.17. Regulation of CO2 in Future

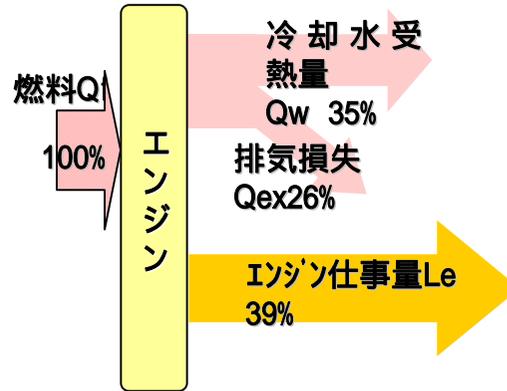
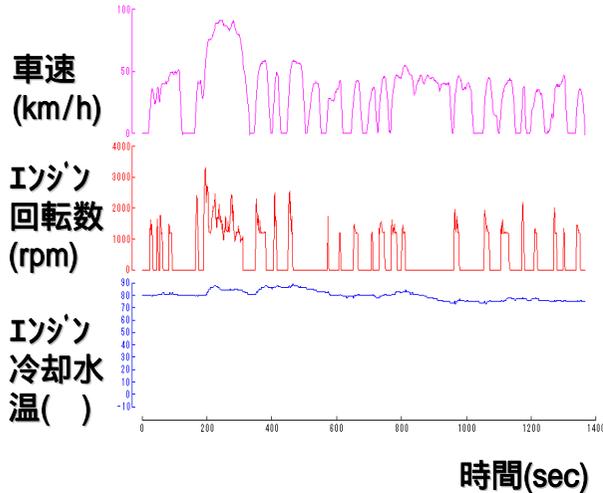
出典: Y.Matsuda: Toyota's Powertrain Strategy ...
32. International Wiener Motorsymposium 2011

熱マネジメントの目的



イステイマHV

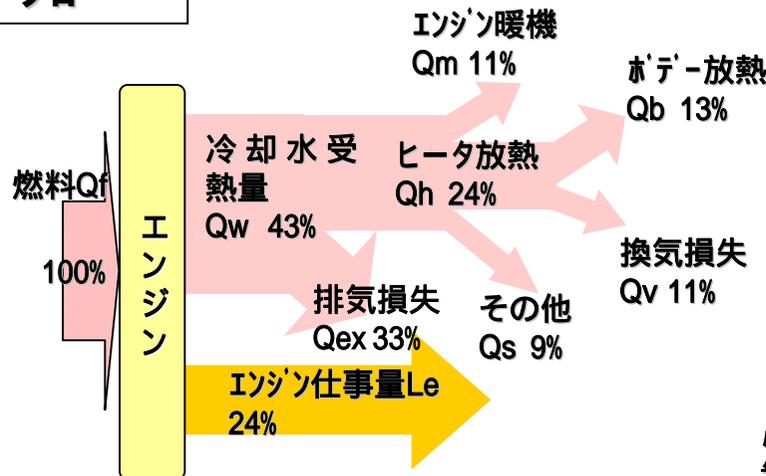
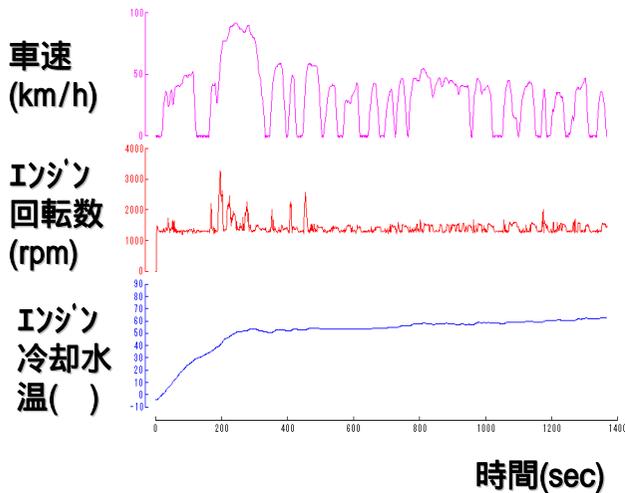
暖機完了後のエネルギーフロー



HV化で効率向上したものの
まだ60%は熱損失
有効エネルギーへ変換(Recycle)

更なる燃費向上

冬季コールドスタート時エネルギーフロー

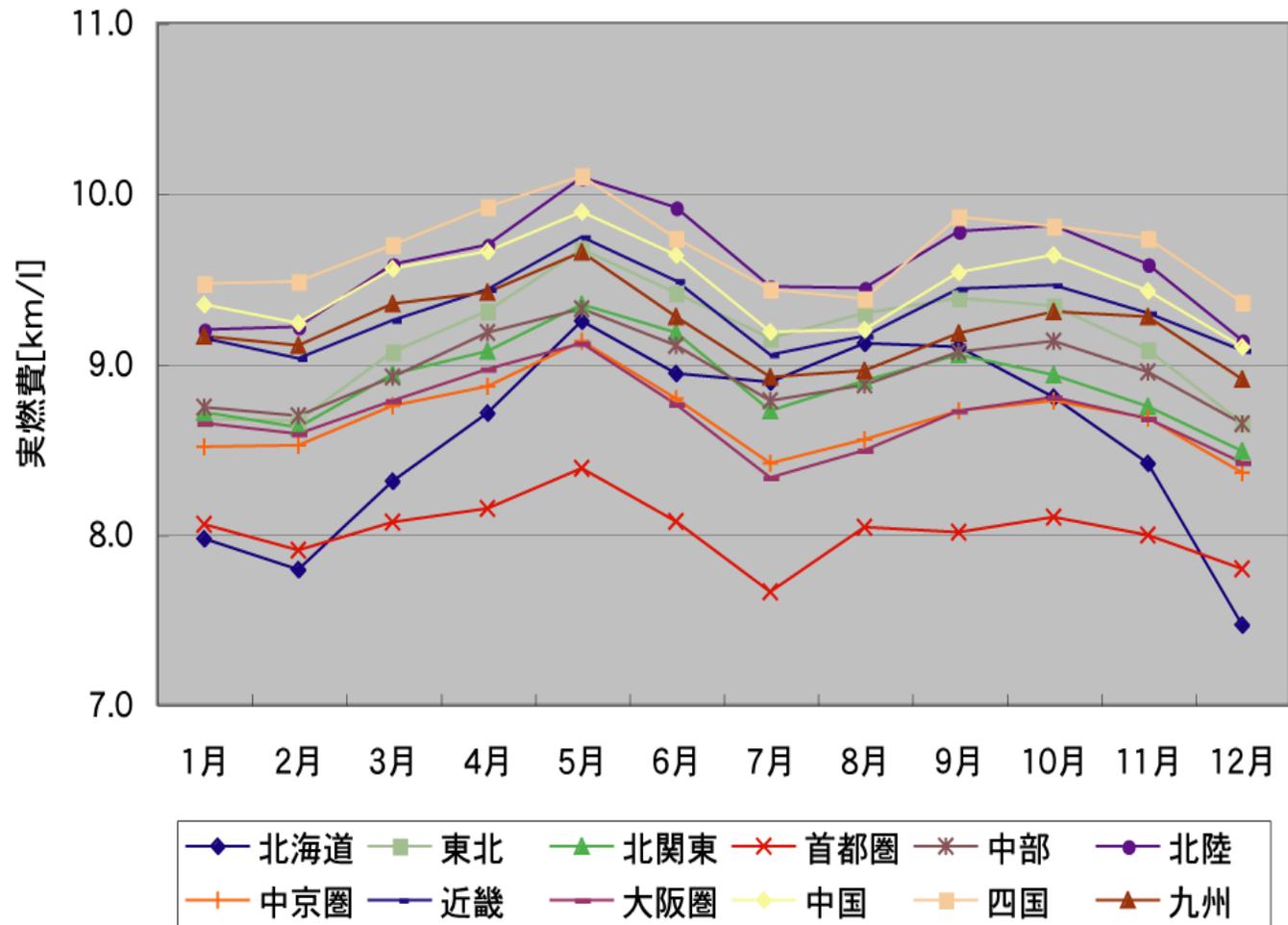


初期熱需要により
燃料消費増し効率低下
需要低減(Reduce)
蓄熱(Reuse)
排気熱利用(Reuse)

燃費と快適性の両立

出典: 中川ら 排気熱再循環システムによる冬季実用燃費向上 自技会誌 Vol.61 No.7

燃費の季節変動



乗用車の都道府県別・月別燃費

出典: 中川ら 排気熱再循環システムによる冬季実用燃費向上 自技会誌 Vol.61 No.7

欧州燃費測定方法: 2.1L/100km

CO2排出量: 49g/km (現在のBセグメント車の1/2)

低油水温によるフリクション増
暖房時の室温低下が顕著化

車両仕様: 空車重量786kg・Cd0.235・1000cc 2気筒アトキンソンサイクルエンジン



出典: トヨタ自動車 ニュースリリース 2012.03.06

熱管理技術

熱供給量低下に対応した需要低減

需要低減: エンジン車室等のヒートマス、放熱ロス
エンジン・T/Mの低温効率改善

需要低減

- ・低温フリクション低減
- ・断熱材/遮熱ガラス

熱需給のミスマッチ

時間的なズレ: 初期需要大、暖機後需要小

蓄熱

- ・顕熱蓄熱
- ・潜熱、化学蓄熱

空間的なズレ: 排ガス、エンジン油水、駆動油、室内

熱輸送

- ・排気熱回収
- ・熱分配ループ

効率よく熱を創る

熱創出

- ・ヒートポンプ

熱供給過多: 夏or高速走行etc.

エネルギー変換

- ・スターリングサイクル
- ・ランキンサイクル
- ・熱電発電
- ・廃熱冷房

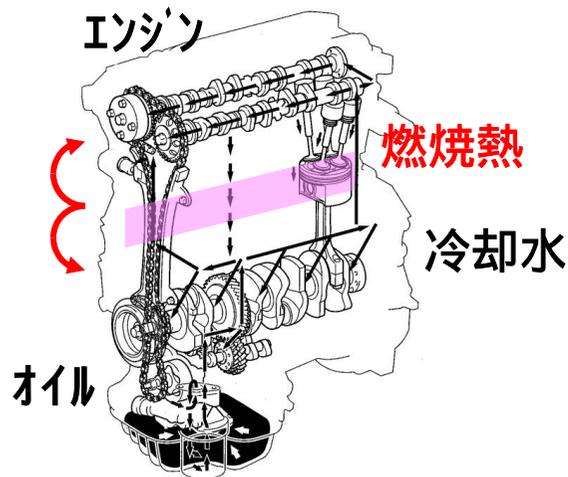


熱需要の削減 Reduce

エンジン暖機需要熱の低減

Reduce

- ・大雑把に言えば130kJ/K
- ・基本：冷却水等熱マス低減
- ・次に熱を拡散させない
冷却水循環
潤滑オイル循環
部材伝熱



エンジン冷却用電動ウォーターポンプ（エンジン装着状態）

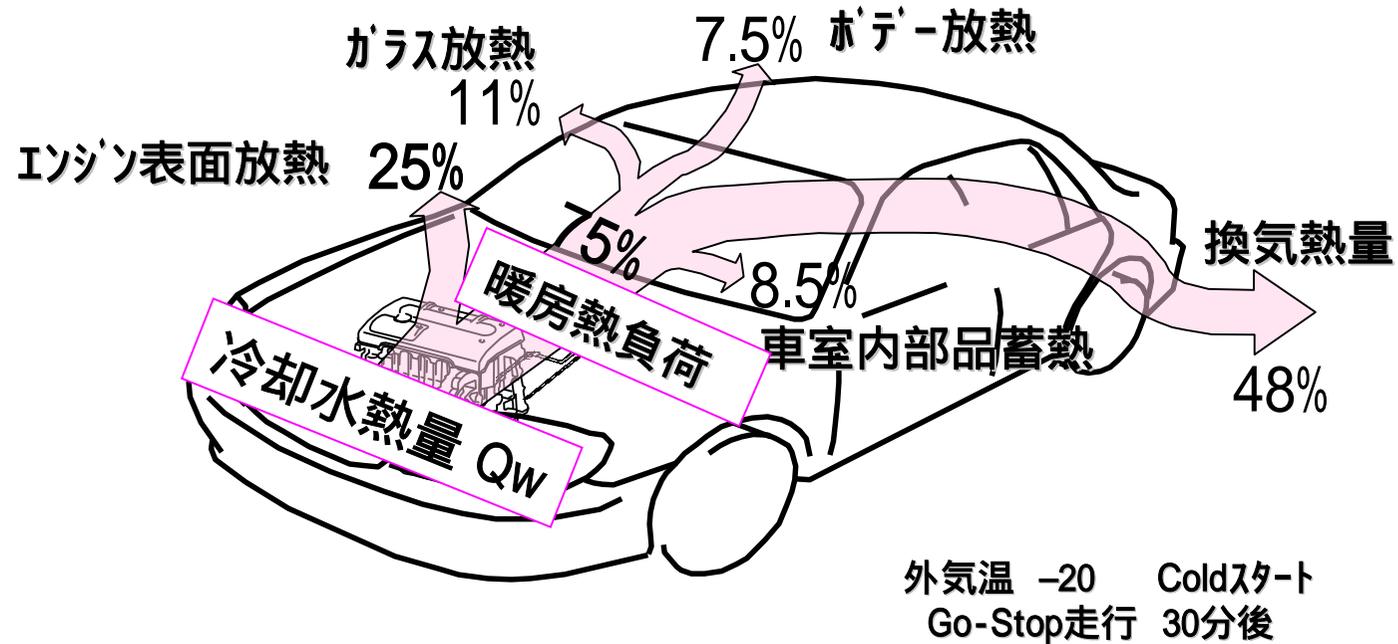


蓄熱の利用：必要熱量の削減とセットで。

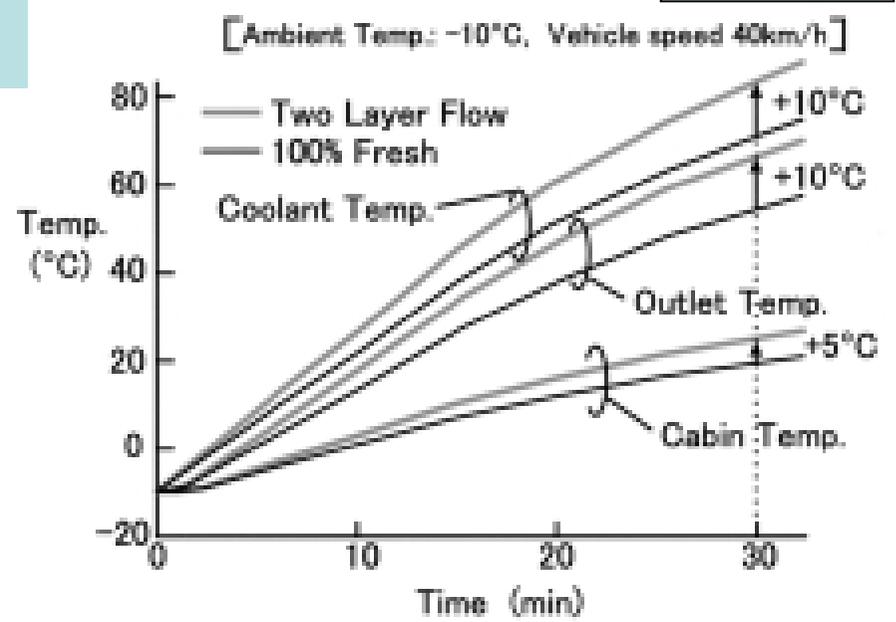
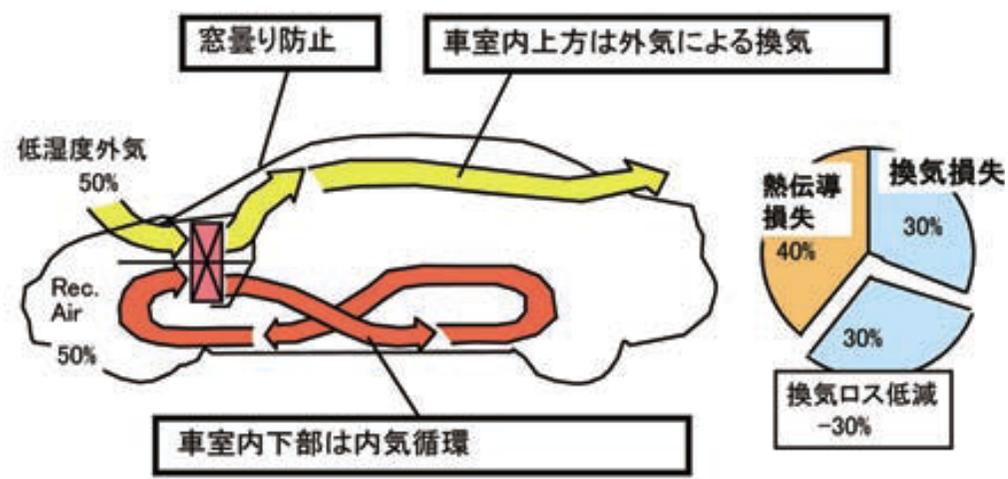
出典：アイシン精機ニュースリリース2009.05.21

暖房時の熱エネルギーフロー

Reduce



換気損失低減; 内外気2層HVACユニット



Vehicle Test (Mini-Van Type)

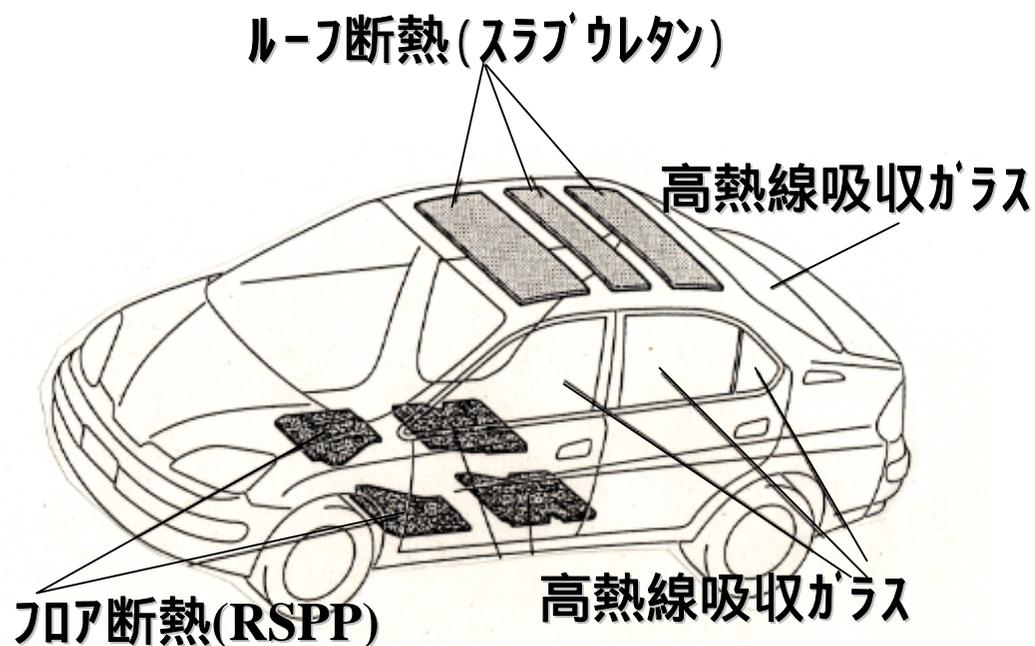
[F/D Mode, Fan Speed; M2, 10 Min from Cold Soak Start, 10 Passengers]

	-10°C 40km/h		-10°C 100km/h	
Fresh				
Two Layer Flow				
	Windshield	FR Side-Window	RR	

低温環境での湿度コントロールが今後重要

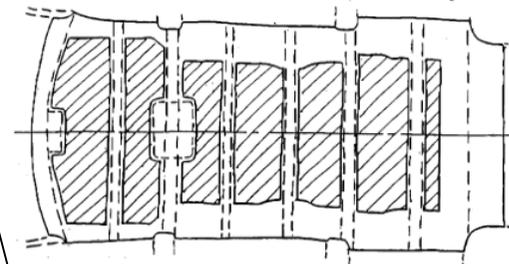
出典:宮嶋ら 内外気2層エアコンユニットデンソーテクニカルレビュー-vol.2 No.4

ボディ熱損失低減(主に冷房視点);断熱材配置・熱線吸収ガラス



1st.Gen.Prius

ルーフ断熱: シンサレイト(1.5m²)追加
シンサレイト貼付部位(平面視)



1st.Gen.EstimaHV

新たな付加物ではコスト・重量が課題

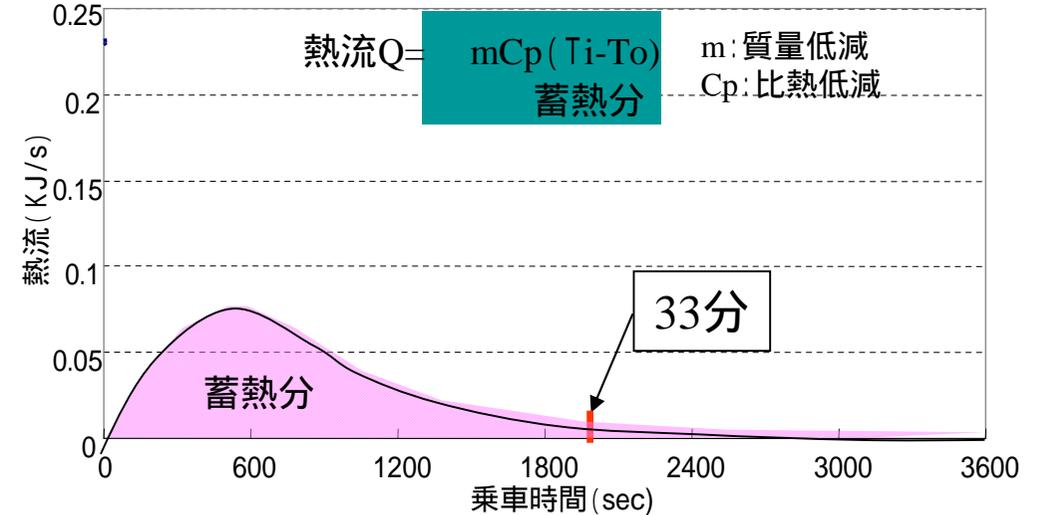
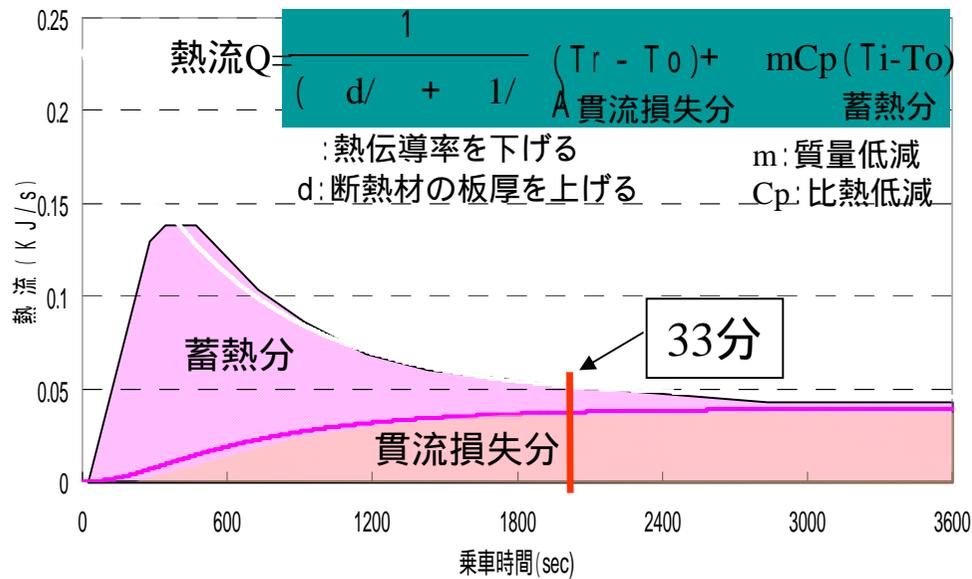
出典:トヨタ自動車 新型車 解説書

ウォームアップ時内装材の熱損失

Reduce

ドア(外気への放熱がある部位)

インパネ(外気と接していない部位)



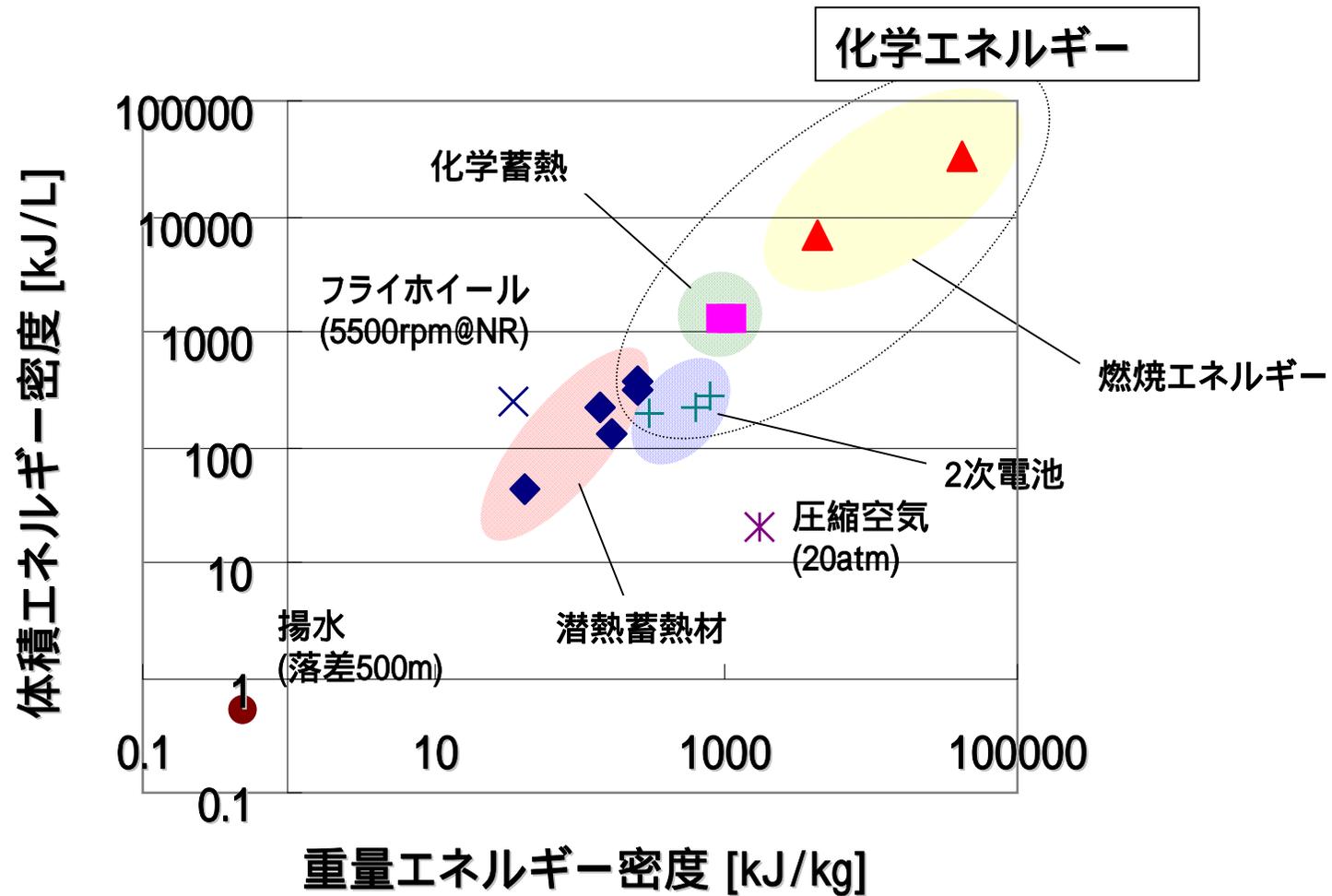
- ・内装トリム材の低ヒートマス、低熱伝導率化をコスト、見栄え等と両立の必要有り。
- ・外断熱は効果小



空間・時間的需給調整 Reuse

蓄エネルギー密度

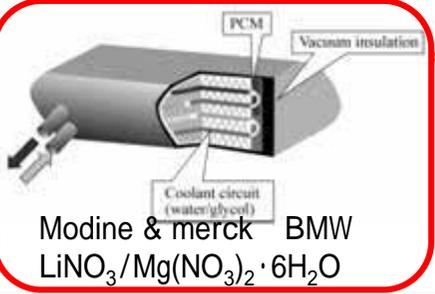
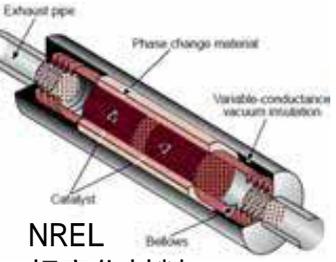
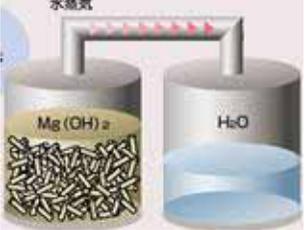
Reuse



エネルギー容器としてはLi電池以上のポテンシャルが必要

蓄熱システムの可能性

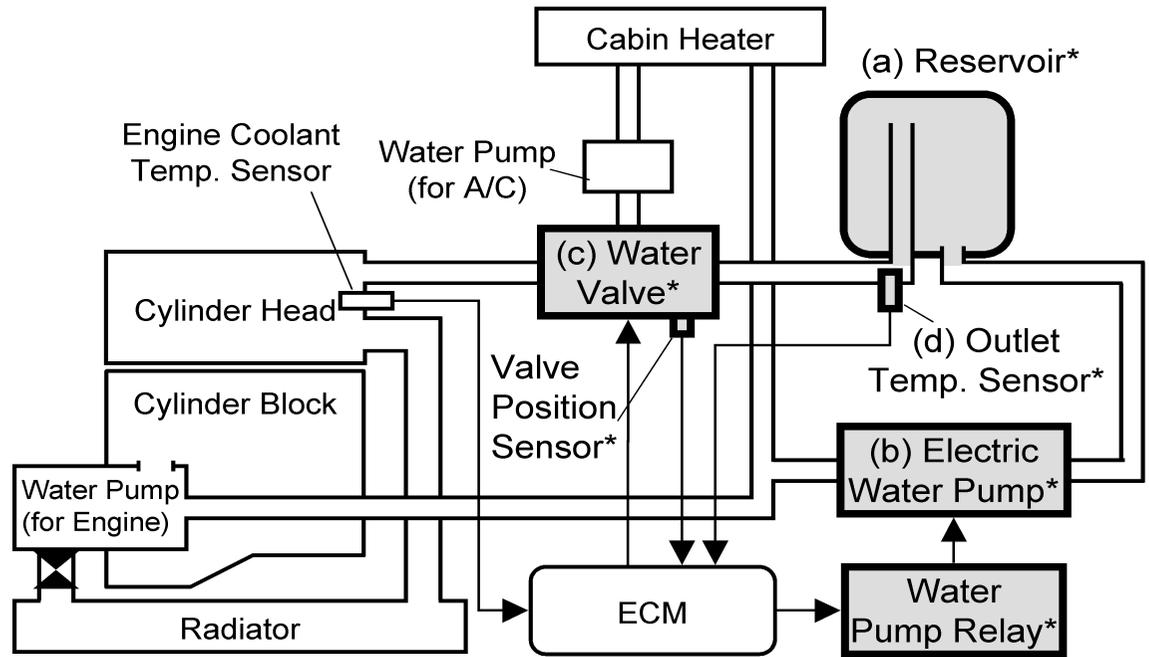
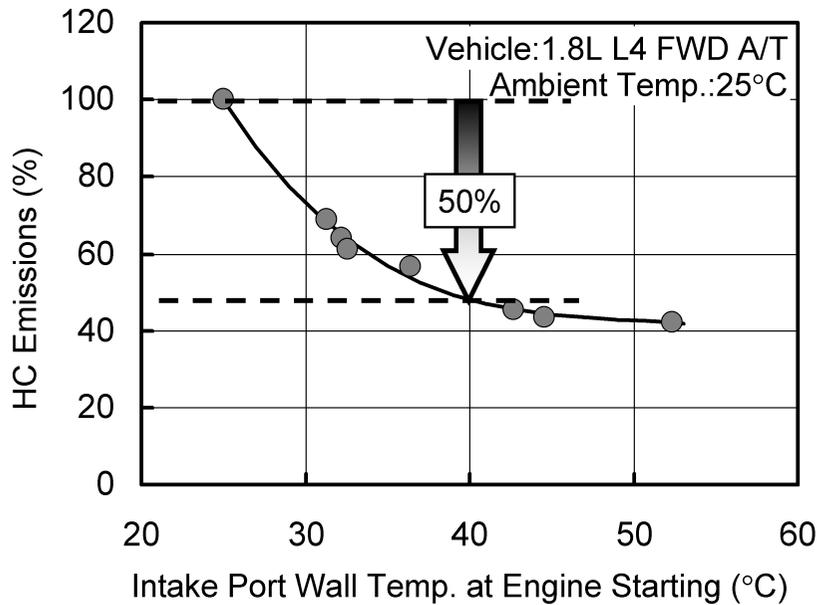
Reuse

形態	蓄熱材	実施例 は車両で採用実績有り。	材料の蓄熱密度
顕熱蓄熱	水 コンクリート レンガ	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 2px solid red; padding: 5px;">  <p>Denso Toyota 温水蓄熱</p> </div> <div>  <p>Ritter Fahrzeug Technik 温水蓄熱</p> </div> </div>	低
潜熱蓄熱	水和塩 有機塩 パラフィン 無機塩	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 2px solid red; padding: 5px;">  <p>Modine & merck BMW $\text{LiNO}_3/\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$</p> </div> <div>  <p>NREL 相変化材料</p> </div> <div style="border: 2px solid red; padding: 5px;">  <p>Shtuz VW 水酸化バリウム八水和物</p> </div> </div>	中
化学蓄熱	無機塩 金属水素化合物 アンモニア化合物 有機物	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;">  <p>Ergenics,USA 水素吸蔵合金</p> </div> <div>  </div> </div>	高

顕熱蓄熱システム

Reuse

'03 プリウス

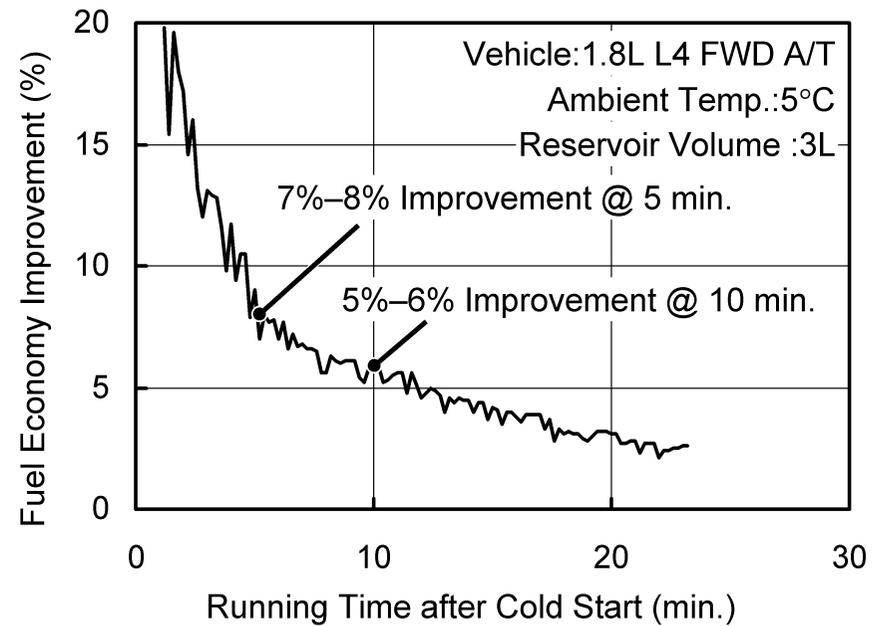
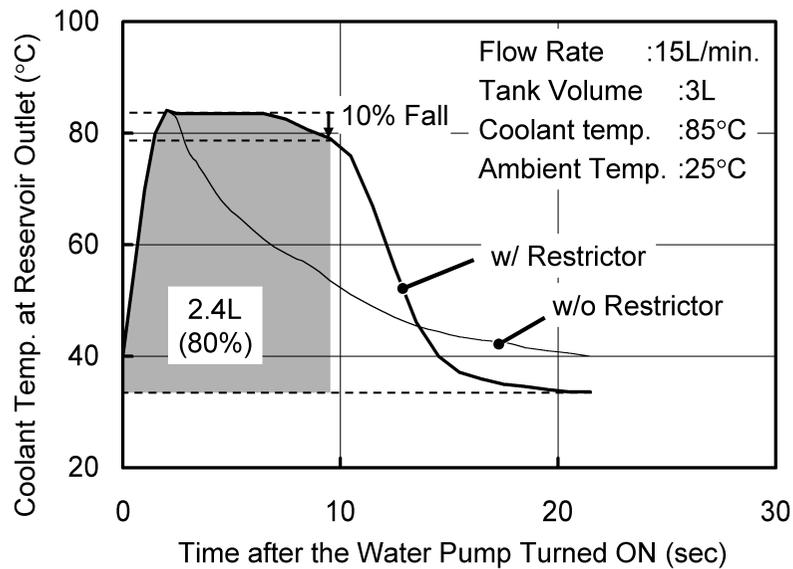
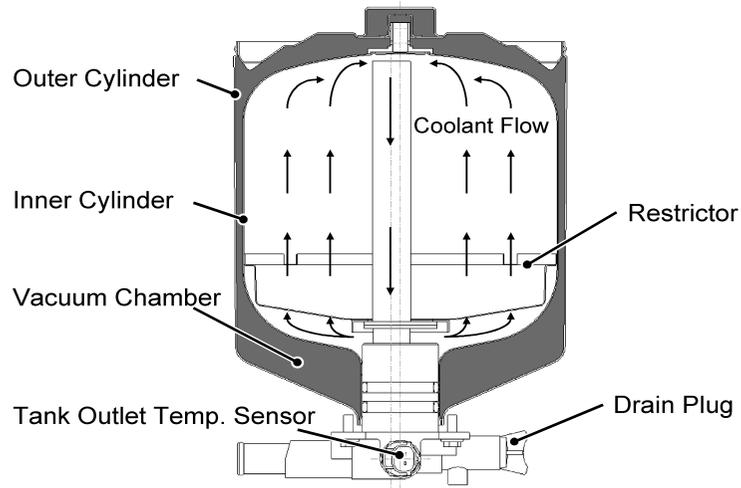


動機: スタート初期の排気エミッション改善

全体システムはやや複雑

出典: H.Kobayashi et al. Toyota's Heat Management system
25. International Wiener Motorensymposium 2004

Reuse



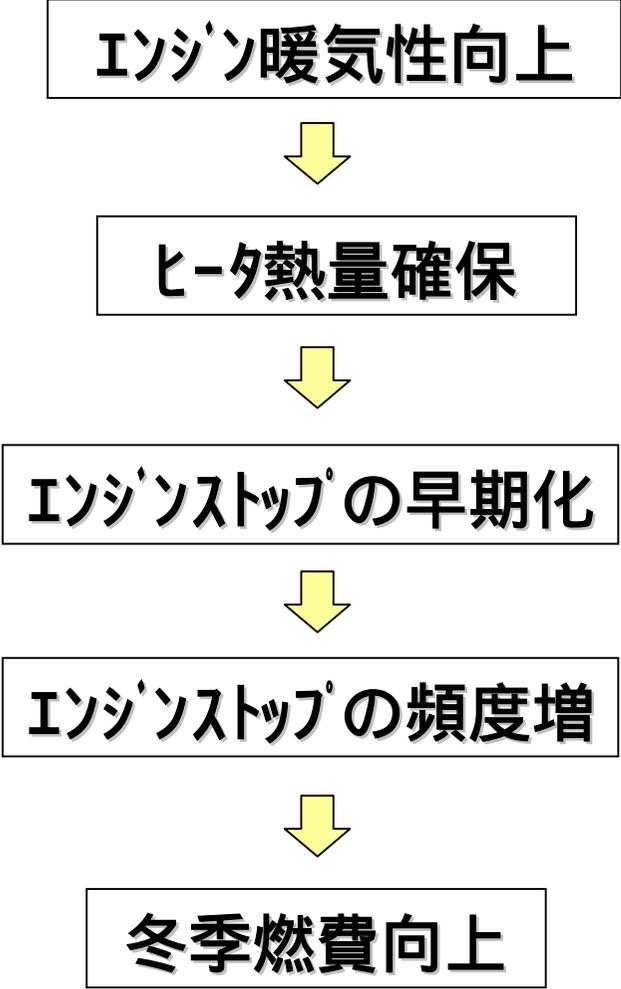
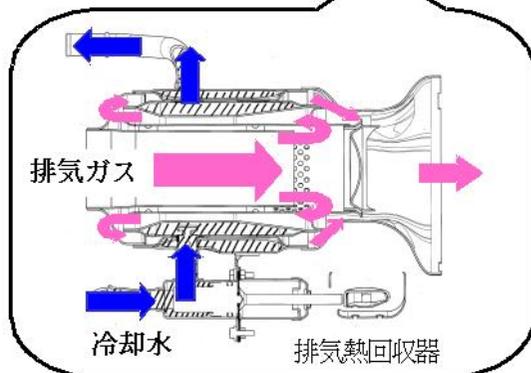
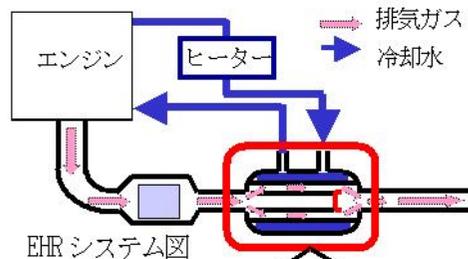
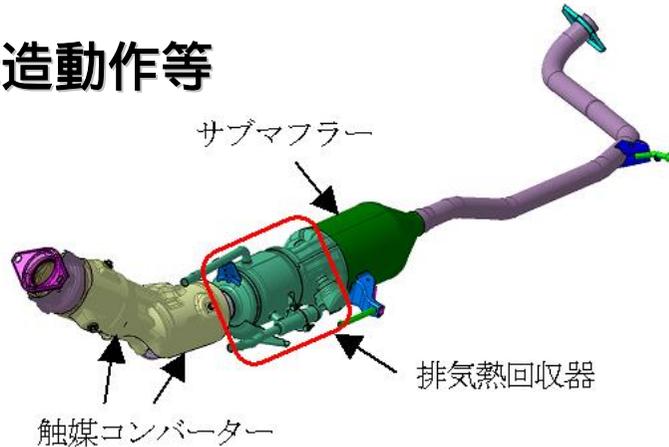
燃費にも効果有り

タク内での温水・冷水混合回避

排気熱回収システム

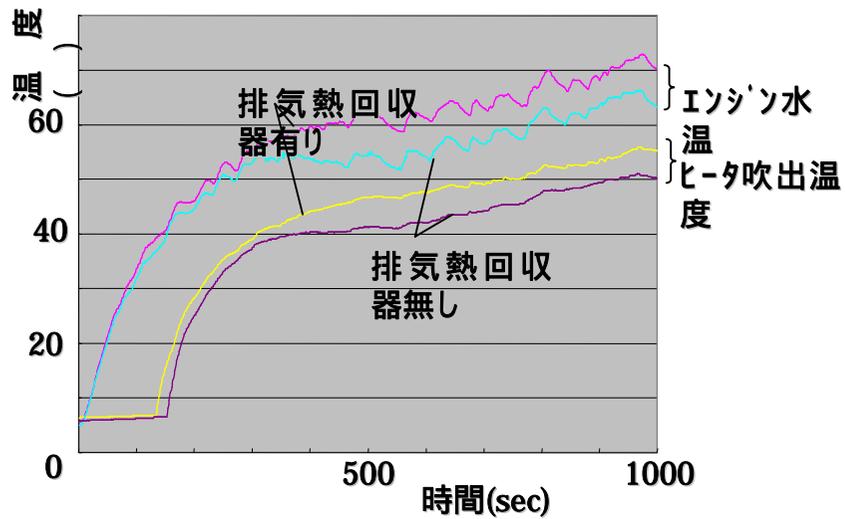
Reuse

構造動作等

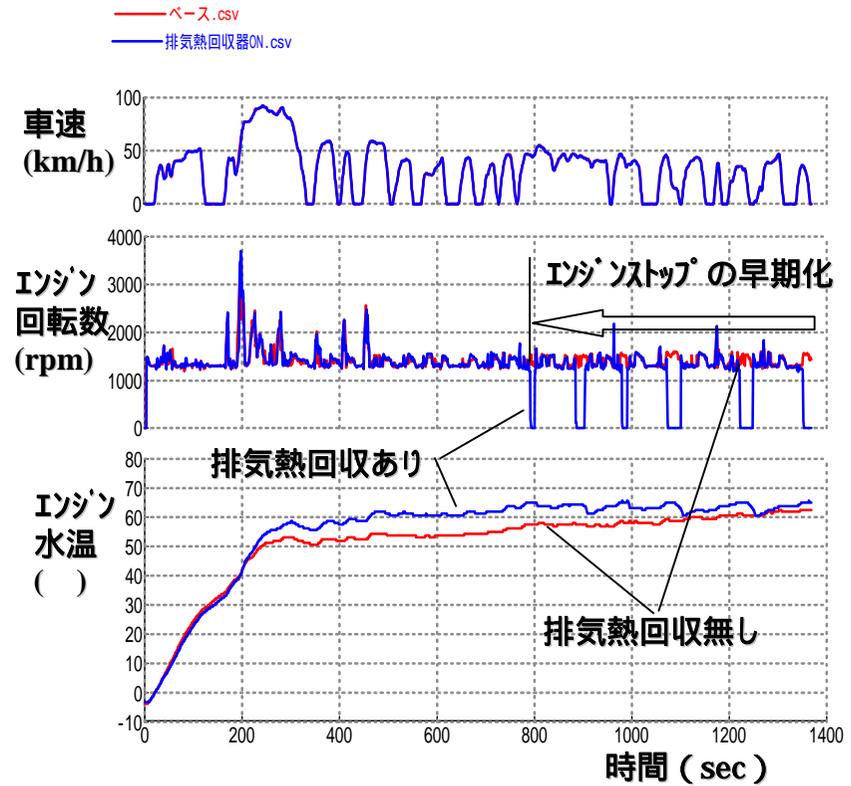


出典: 中川ら 排気熱再循環システムによる冬季実用燃費向上 自技会誌 Vol.61 No.7

Reuse



快適性:ヒータ吹出温約7 の効果



燃費:8%冬季燃費向上

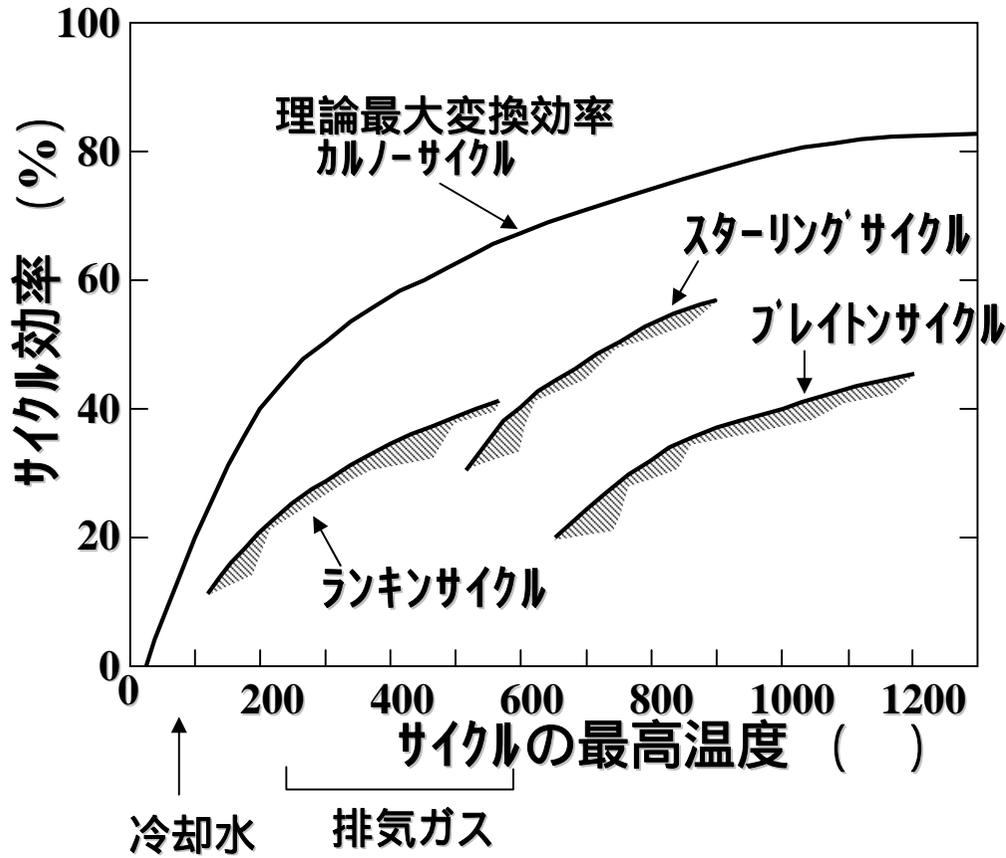
出典:中川ら 排気熱再循環システムによる冬季実用燃費向上 自技会誌 Vol.61 No.7



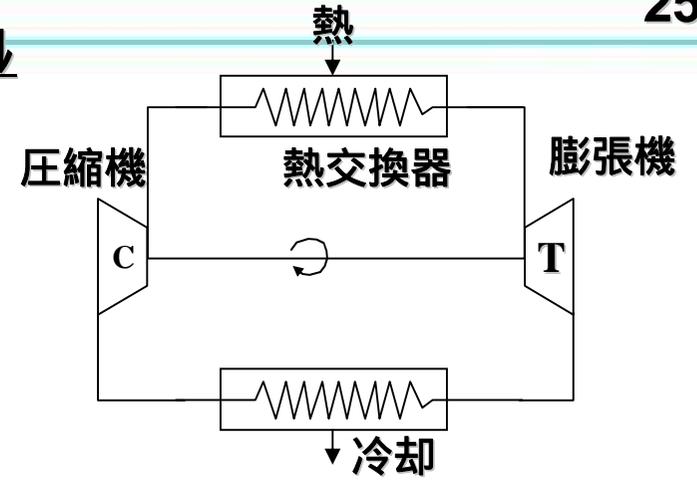
エネルギー - 変換 Recycle

熱エネルギー変換

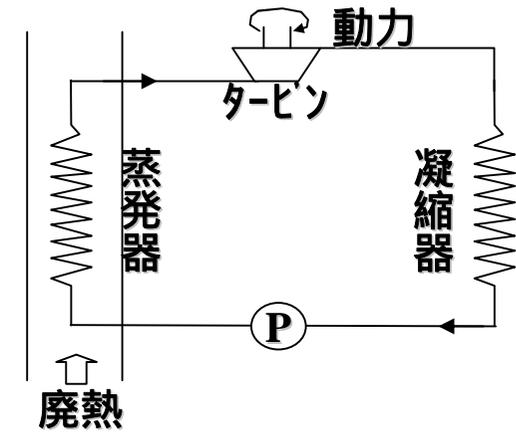
Recycle



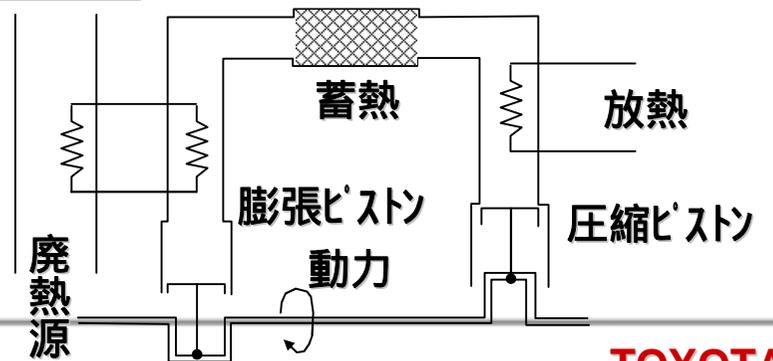
ブレイトンサイクル



ランキンサイクル



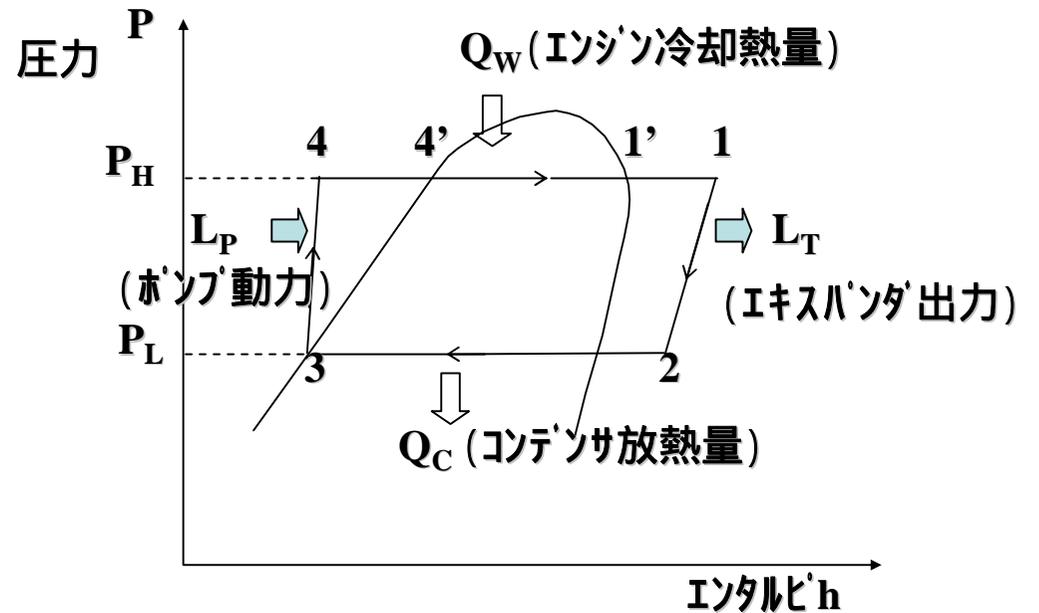
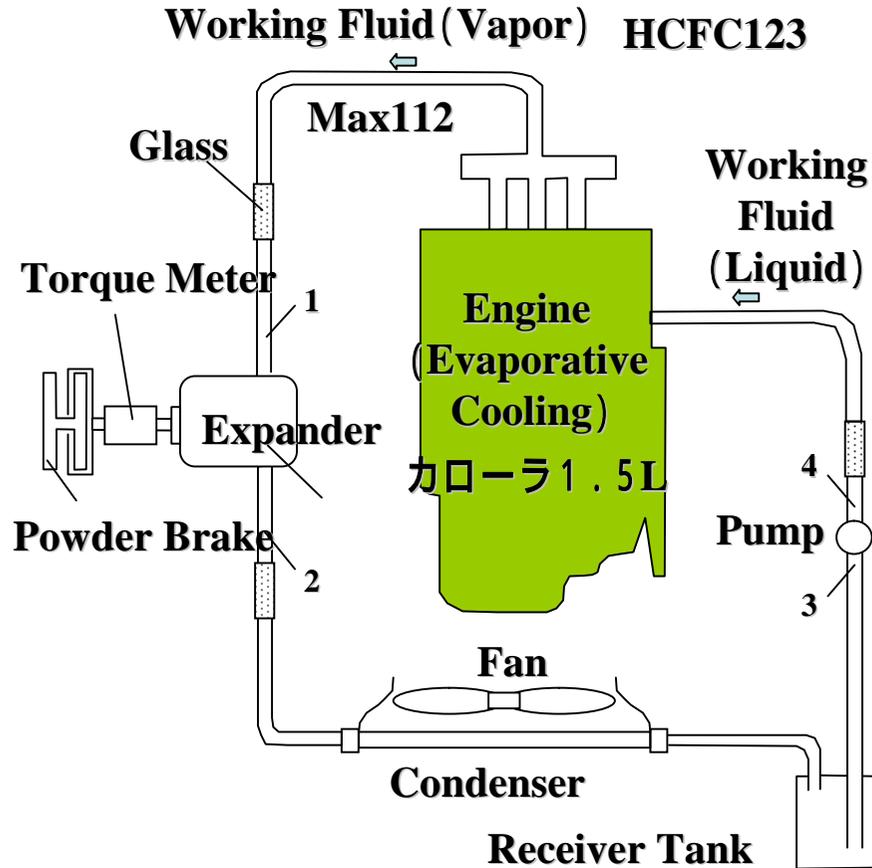
スターリングサイクル



冷却水熱源ランキンサイクル

Recycle

1993年 検討



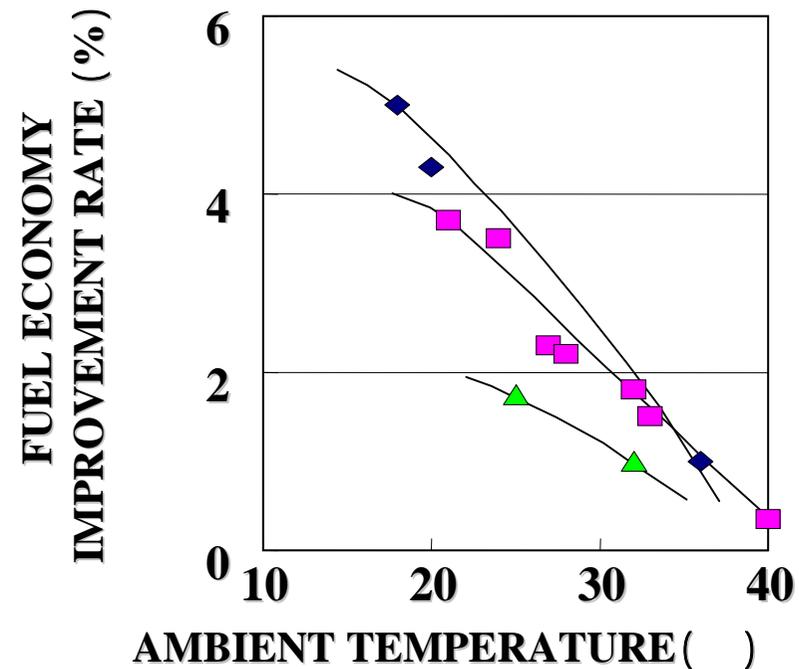
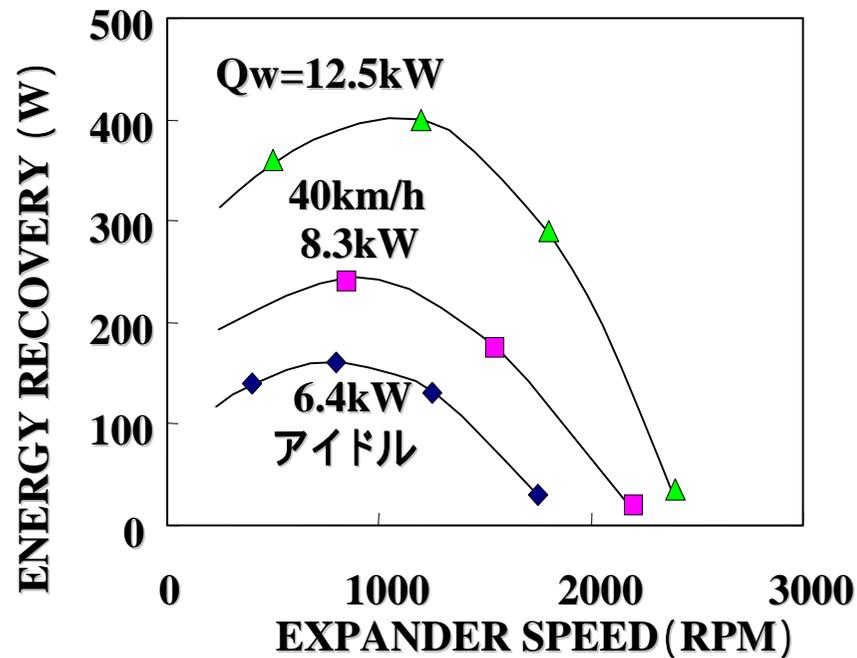
・エンジンを冷媒で沸騰冷却、エキスパンダーで動力回収

出典: S.Ogino et al. Waste Heat Recovery of Passenger Car...
SAE Technical Paper 930880

実験結果

Recycle

AMBIENT
TEMPERATURE=25



- ・変換効率は約3%
- ・エキスパンダー効率改善、高温熱源(排ガス)の利用
- ・ランキン用熱媒体開発が必要

エンジン横置き形スターリング機関

Recycle

~ '10 検討例

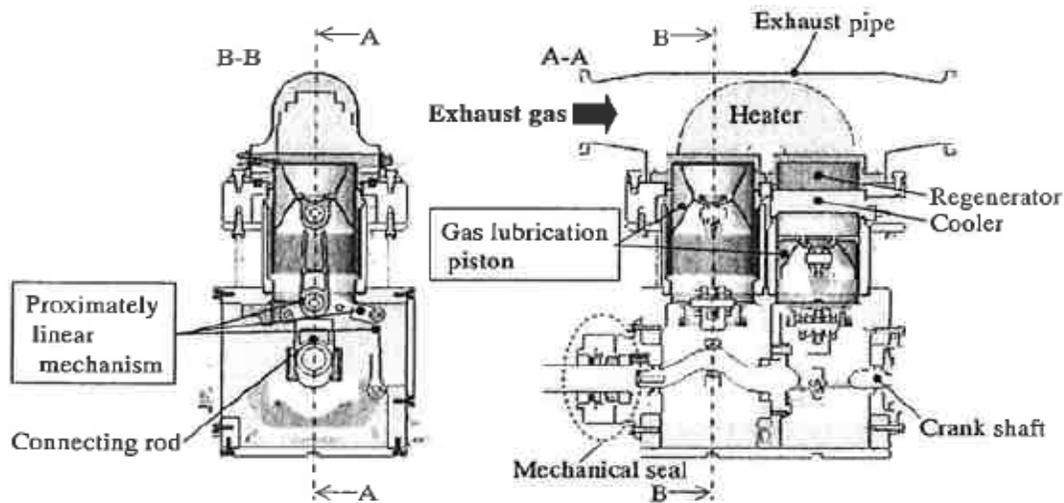


Fig.8 Structure of prototype Stirling engine

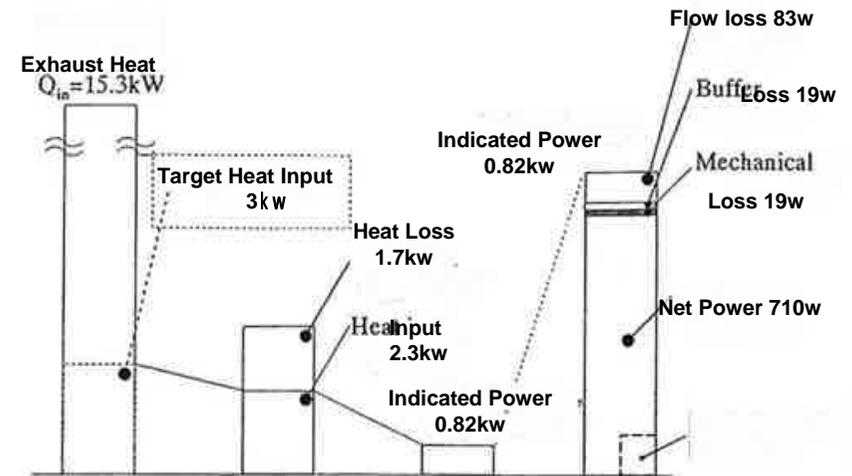


Fig 9 Heat balance

$$\frac{\text{Net Power } 0.71\text{kW}}{\text{Ex.Heat Input } 15.3\text{kW}} = 4.6\%$$

出典: 矢口ら 排気熱回収スターリングエンジンの研究
自技会 学術講演会前刷集 No.45-10

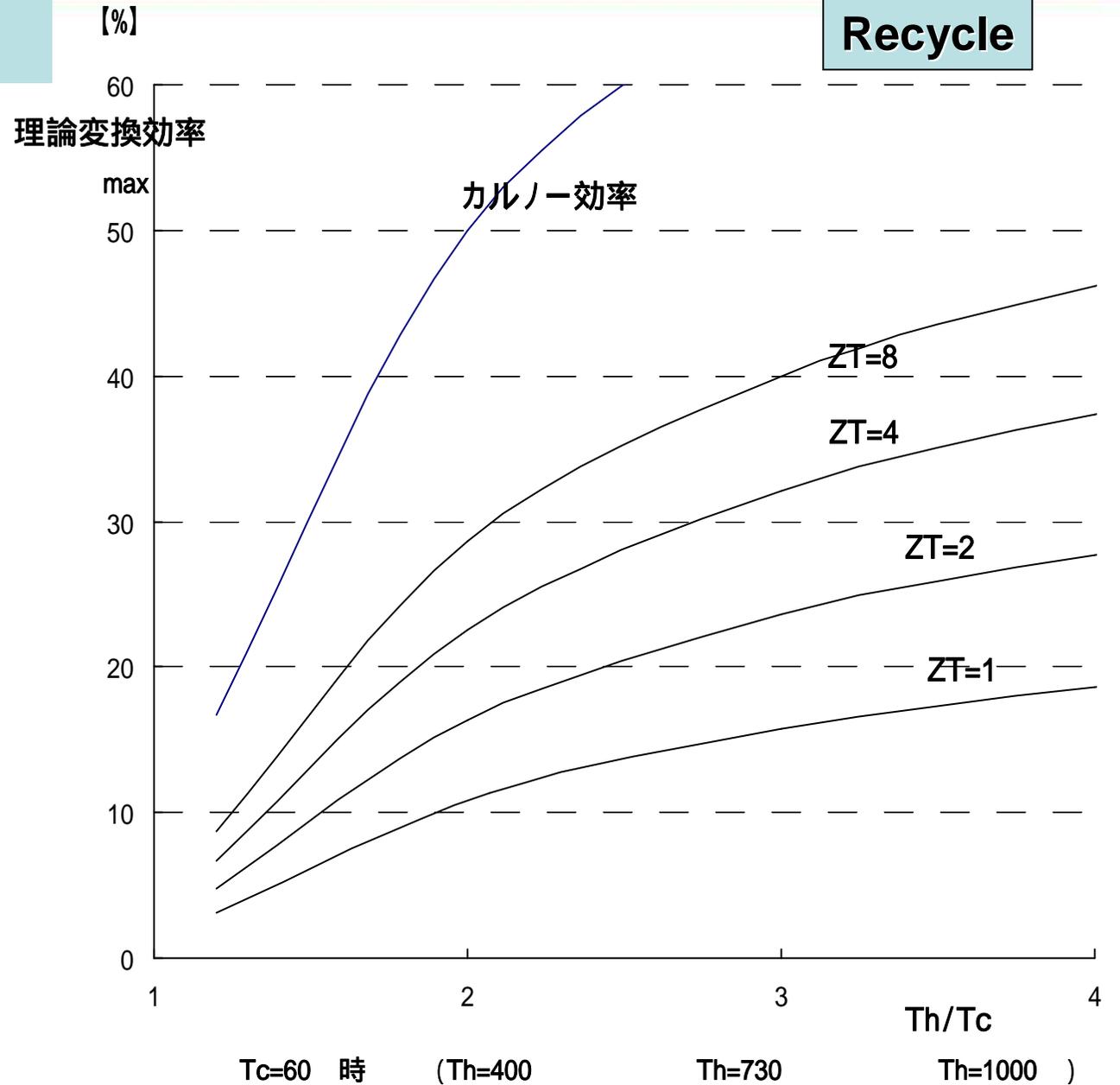
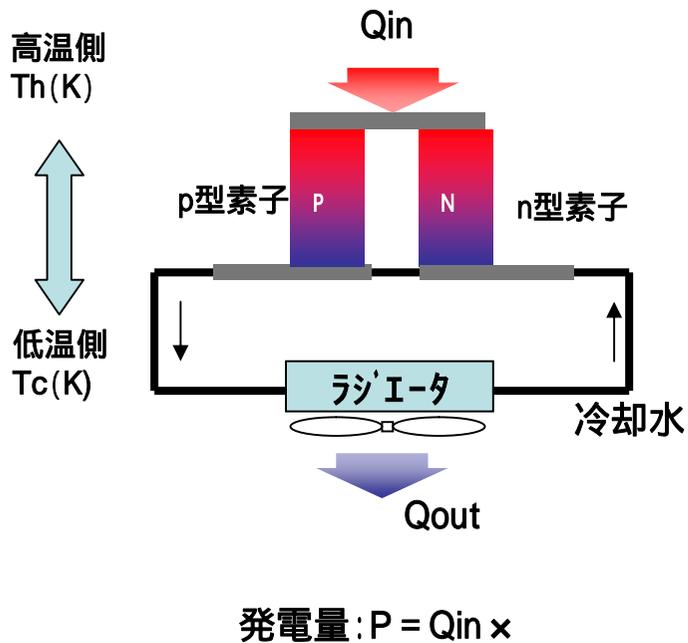
熱電発電効率と材料特性

Recycle

理論変換効率

$$\eta_{\max} = \frac{Th - Tc}{Th} \times \frac{\sqrt{1 + ZT} - 1}{\sqrt{1 + ZT} + Tc/Th}$$

ZT:素子性能指数



廃熱回収による冷熱・温熱生成

長所: 省電力消費 短所: 体格大(搭載性難)



Sorption cooler

Dimensions:

900 x 400 x 500 <180L>

Weight :

85 kg

Average Cooling Power:

900W on board

2500W on Lab test

TOPMACS was part of the EU 6th framework program (STREP) research. <2005 – 2009>



G.Punto 1,4 gasoline



Air Cooler



Additional radiator

CRF Team: S.Mola, D.Magnetto, W.Ferraris,
L.Cancedda, A.Secondi, S.Sandri, F.Cavallaro

出展 : <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2010/m10002.pdf>

Rewarded with a smile

TOYOTA



技術開発支援の例



【欧州】 エコイノベーションクレジット

(EC)No725/2011

・ECE-ドテストでは効果が表れない先進CO2低減技術の効果を評価し、認められれば最大 7g/km のCO2排出クレジットの付与。

技術事例(未確定)

LED exterior lighting (LEDライト)

Battery charging solar roof (ソーラー充電)

Efficient alternator (高効率オルタネータ)

Engine heat storage (エンジン保温・蓄熱)

除外規定

すでに130g/km規制で補完的措置10g/km分として認定されたもの

高効率エアコンシステム、低転がり抵抗タイヤ、ギヤシフトインジケータ、バイオ燃料の使用

【米国】 オフサイクル技術クレジット

RIN 2060-AQ54

17MY-25MY CAFÉ/GHG規制値に対して、FTPサイクル、Hwyサイクルテストに効果が表れない
燃費向上アイテムに燃費クレジットを付与

高効率ライト

エンジン排熱回収

ソーラールーフパネル

可変エアロパーツ

エンジン Start&Stop

電動ヒータウォータポンプ

アクティブトランスミッション暖機

アクティブエンジン暖機

日射熱抑制(ガラス、塗料)

Technology	Credit for Cars	Credit for Light Trucks	Minimum Penetration Requirement
	g/mi	g/mi	percent
High Efficiency Exterior Lighting	1.1	1.1	10%
Engine Heat Recovery	0.7	0.7	--
Solar Roof Panels	3.0	3.0	--
Active Aerodynamic Improvements	0.6	1.0	10%
Engine Start-Stop	2.9	4.5	10%
Electric Heater Circulation Pump	1.0	1.5	--
Active Transmission Warm-Up	1.8	1.8	10%
Active Engine Warm-Up	1.8	1.8	10%
Solar Control	Up to 3.0	Up to 4.3	10%

まとめに代えて

自動車における熱エネルギーの有効利用に関して現状と課題をまとめた。

今後、下記についての研究開発が重要と思われる。

< 冷暖房熱負荷低減 >

軽量・低コストの内装トリム材料 熱反射ガラスの低コスト化 車室内湿度制御

< ヒートポンプシステム >

低温作動 高効率維持 着霜対策 システムの簡素化

< 蓄熱システム >

材料探索、特性改善 システム化 モジュール化

< エネルギー変換技術 >

高ZT材料開発、特性改善 熱交換器合理化 まずは熱 冷熱利用か？



笑顔のために、期待を超えて



ご清聴ありがとうございました。