

C341 ヒートポンプと環境発電 ヒートポンプの排熱回生

Instructions for: Regenerate waste heat from the heat pump

○東 謙治 (ダ・ビンチ)

○Kenji HIGASHI

* President & CEO., Da Vinci Co., Ltd. Yamato-Takada, Nara Pref., 635-0071, Japan
(Department of Mechanical Engineering, KINDAI University Technical College)

A method of using the exhaust heat of the heat pump as the heat source of the Rankine cycle by using the condenser of the heat pump as the evaporator of the Rankine cycle will be described.

Keywords : Heat pump, Waste heat, Rankine cycle, Orc, Rotary heat engine,

1. はじめに：ヒートポンプの廃熱利用

ヒートポンプは COP(Coefficient of Performance:エネルギー消費効率)が一般的に 1 を上回る。これは人為的に投入したエネルギーよりも大きな出力が取り出せるということであるが、1 を上回る仕事は温度差による熱の移動により生じた熱エネルギーによる。その現象は冷房の場合ではコンデンサーで放熱、エバポレーターで吸熱するという過程で利用されている。しかし、コンデンサーで放熱した比較的高温の熱は大気に廃棄されているのが現状である。そのように廃棄されている熱エネルギーも未利用エネルギーと考えるべきである。そこで、その未利用エネルギーを有効利用するため、ヒートポンプサイクルとランキンサイクルとを組み合わせた複合サイクルの検討を行った。今回の講演ではランキンサイクルシステムとして、当社が共同開発した(注1)ロータリー熱エンジン(RHE)を対象に解説した。また、ヒートポンプサイクルとランキンサイクルの基本的な構成の説明を省いた。

ヒートポンプサイクルのコンデンサーとロータリー熱エンジンのエバポレーターを共用する複合システムを構成した。まず、コンデンサーの放熱過程に注目すると、コンプレッサーで圧縮されて高温となった作動媒体(気体)を圧送し、コンデンサーで凝縮して液化する。液化する過程は空冷の場合では環境温度と作動媒体との温度差による潜熱移送である。空冷の場合は大気に放熱する事になるが、そのコンデンサーから移送される1次側の潜熱をロータリー熱エンジンのエバポレーターとして機能する2次側に伝達すると、従来大気に放出されていた未利用エネルギーを有効利用できる。結果としてCOPを向上することが出来る。よってコンデンサーとエバポレーターを共有する複合システムを考案した。今回の講演では複合システムに関して検討した結果を解説する。

注1)これらの検証は東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻中須賀研究室と共同で開発したロータリー熱エンジン(ランキンサイクル装置)をベースに、理化学研究所光熱エネルギー電力化研究チームにおいて、中間熱交換器を追加したRHEランキンサイクルシステムの実証検証した結果を含む。

2. ヒートポンプサイクル

Fig.1 に図示したヒートポンプサイクルのモデルを対象にコンデンサーの放熱について検討すると、コンデンサーより約 146kW の熱が大気に放出されることになる。本研究では、この熱エネルギーを回収する方法としてコンデンサーの内部で気相から液相に相転移する際に放出される Latent Heat(潜熱)に着目した。コンデンサー内部で相変化をもたらすには、熱エネルギーを奪うためのより低温の媒体が必要であり、一般的には環境温度を利用した空冷が多く使われている。しかし、Fig.2 の模式図のように、ランキンサイクルで一般的に使用されている代替フロン R245fa に熱エネルギーを移送することで、環境温度よりも高い熱を得ることができる。即ち、環境温度との ΔT が大きな熱源はさらに利用することが可能な熱資源となる。

Heat Pump Cycle

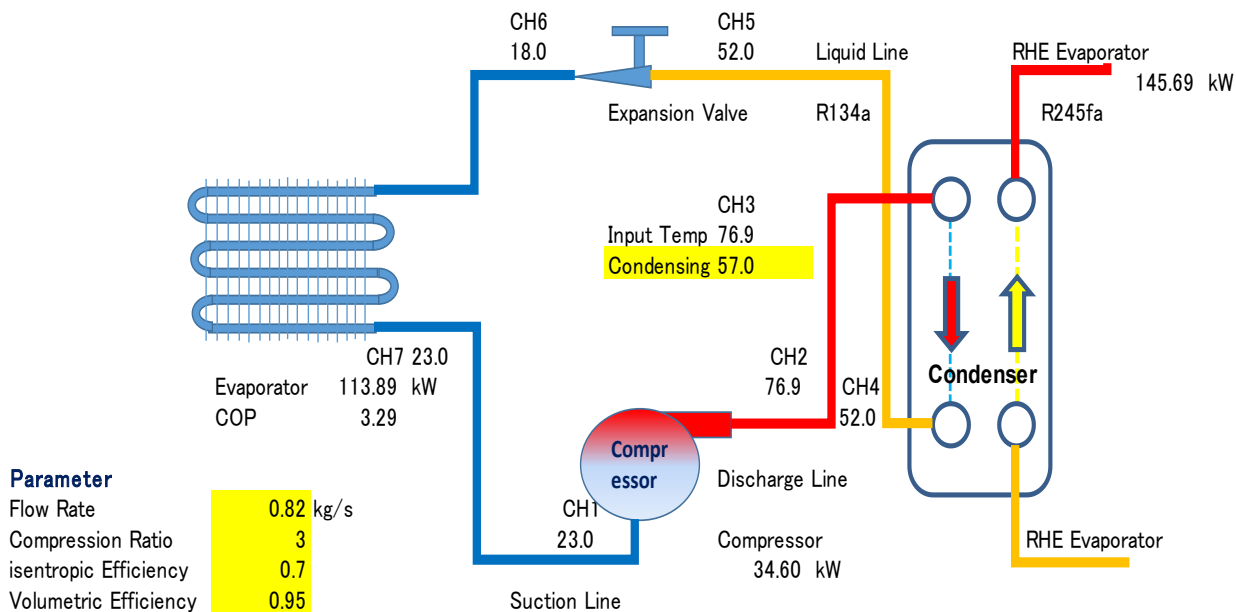


Fig.1 Heat Pump Cycle

3. ランキンサイクル

Fig.2 では、Fig.1 のコンデンサーより受け取った熱エネルギーをランキンサイクルのエバポレーターとして共用した場合の模式図を示した。Fig.2 の CH1 に入力される熱エネルギーはヒートポンプサイクルのコンデンサーから移送された熱エネルギーである。その熱エネルギーは中間熱交換器を採用した理想的なランキンサイクルに投入した場合、6.8%程度の熱仕事効率が得られる。試算では最大で 10%の熱仕事効率を出すことが可能と思われるが、熱仕事効率の向上は出力の低下につながるため、実質的には 7%程度の熱仕事効率を目指すのが合理的である。

Fig.2 の模式図では約 10kW の電力を得ることができるので、その電力を系統に連携するのではなく、ヒートポンプサイクルのコンプレッサーの電力補助にすれば COP は大きく向上する。

Fig.2 の RHE ランキンサイクルの特徴は膨張機と中間熱交換器である。膨張機はタービン類の衝動型エンジンとは異なり、容積型エンジンのバンケル型ロータリーであり、主に静圧を利用する。中間熱交換器をサイクル内に追加し、サイクル内での熱回収をおこなう。中間熱交換器は流路抵抗となるため、背圧がかかる問題がある。そのため、一般的な膨張機では効率の低下を招く。しかし、バンケル型ロータリーエンジンは排気の際に背圧が立ってしまうが、その圧力が中間熱交換器の流路抵抗を軽減する。極端な配管抵抗を立てなければ、前者の膨張機と比較して効率の低下は小さい。

* 中間熱交換器を持ちない場合、熱仕事効率は最大で 5%程度である。また、環境負荷が大きな代替フロン (R245fa) は現在使用していない。

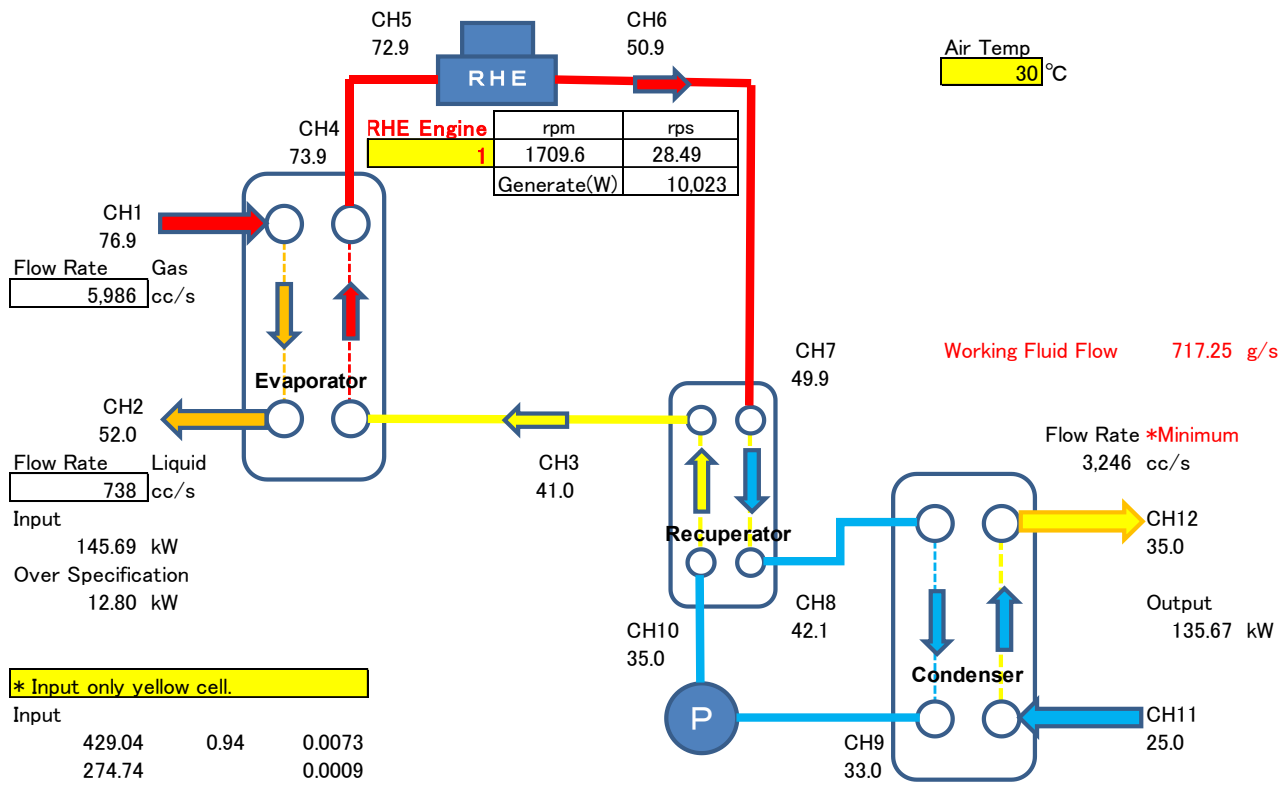


Fig.2 RHE Rankine cycle

4. 膨張機の実出力について

今回のシミュレーションに使用したのは Table 1 に示した 10kW 出力を定格としたエンジンで、理化学研究所で検証したものは 1kW 定格の小型装置で実施した。容積型のエンジンはシリンダーの上死点から下死点迄の容積と、エンジンに入力された作動媒体の圧力と排気される時の圧力の差を掛けたものが、そのエンジンのその時の状態における最大仕事となる。よって、入力変動に対しては比較的にニアに出力も変化する。

Table 1 Efficiency of RE Expander

Condition	Steam temp:	Engine	Input	72.9 °C		VaporDensity(m ³ /kg)	0.028	20,462	cc/s
			Output	50.9 °C		VaporDensity(m ³ /kg)	0.052	38,001	cc/s
	Steam pressure:	Engine	Input	642.8 kPa-abs		Vapor Base Rotating Speed		29.03	rps
			Output	344.2 kPa-abs		FlowRate Under		717.25	g/s
	Pressure difference between engine inlet and outlet:			298.6 kPa				28.49	rps
	Volume of working chamber:			1,309 cm ³	Engine Unit 1		10kW	1,309	cc
	Expansion			46%			1kW	291	cc
①	Produced mechanical work per one rotation of drive shaft :			390.9 Nm					
	Theoretical torque:			62.2 Nm					
	Mechanical loss:			30%					
	Actual torque:			43.5 Nm					
	Generator Torque			0.025 Nm/rpm					
②	Rotating speed of drive shaft: ∠P			1741.8 rpm=	29.03 rps				
	FlowRate			1709.6	28.49 rps				
	Shaft power=①*②			11,137 Nm/s=	11,137 W				
	Generator efficiency			90% Net	10,023 W				

以下の Fig.3 は Fig.1 と Fig.2 をまとめた模式図である。このような構成を採用することで、ヒートポンプサイクルのコンデンサーから排出される熱エネルギーを有効に利用できるだけでなく、大気に放出される熱エネルギーの温度を下げるができる。Fig.3 の場合は、77°Cで大気に放出される排熱が、35°Cで排出されるので、クーリングタワーでの冷却水の蒸発量も軽減されるなど、COP の向上以外にも大きなメリットがある。

RHE_Heat Pump cycle

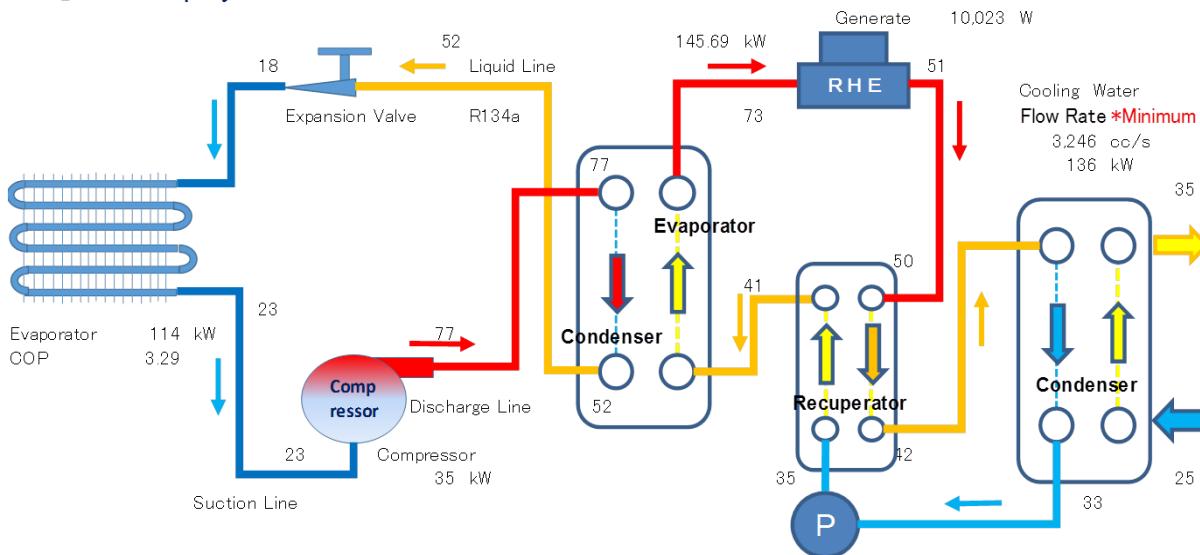


Fig.3 Heat pump combined system

5. まとめと今後の課題

これからの研究課題として、Fig.4 のように 2 台のバンケル型ロータリーエンジンを向かい合わせに設置する構成を考えている。ランキンサイクル側に接続されたエンジンは膨張機として、もう 1 台はヒートポンプサイクルに接続されたコンプレッサーとして使用する構成である。この場合は、工場などの廃熱から冷熱に直接的に変換することができる。ランキンサイクルの膨張機用のエンジンは圧力から動力に変換することが可能であり、ヒートポンプ側の圧縮機用のエンジンは、膨張機用のエンジンと連動して、動力から圧力へと変換する。さらに、このエンジンは 35kPa 程度の差圧でも動作可能であり、廃熱の温度が低くとも、それに見合った冷熱を作ることができる。要するに非常に使い勝手の悪い低温の廃熱を、エネルギー価値の高い冷熱へと直接変換する装置となる。

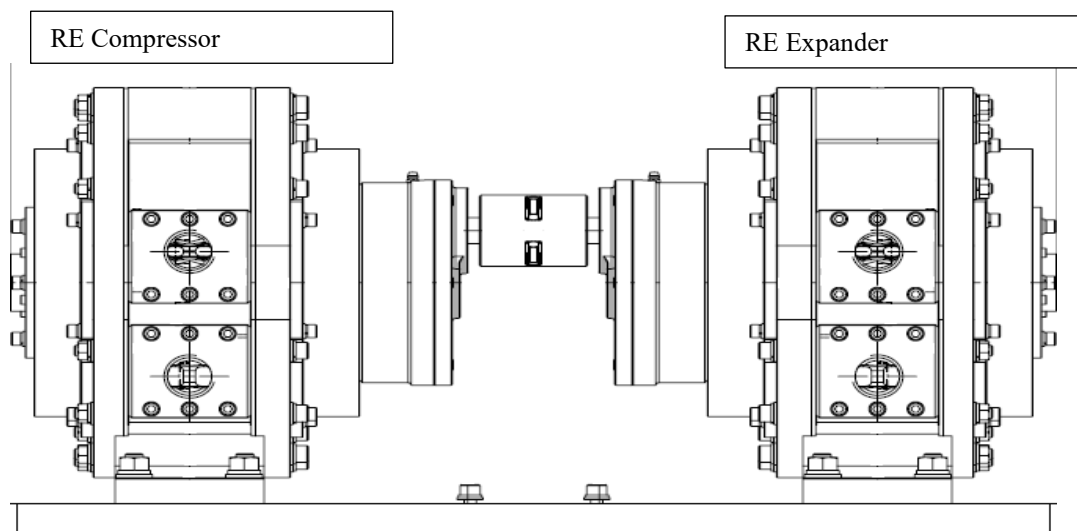


Fig.4 Twin RE Expander & Compressor

ヒートポンプサイクルは非常に効率の良いサイクルですが、更にその効率を向上させる可能性の追求、また、電力の供給をほとんど必要としない構成など研究開発の要素は多くある。既にコンプレッサーの圧縮比やコンデンサーでの作動媒体の凝縮点などは研究しつくされていると想像する。しかし、ヒートポンプサイクルより廃棄される熱エネルギー利用に関しては、今後の重要な研究課題である。ますます可能性が広がる技術として皆様と連携して研究開発を進めたく思う。

6. 謝辞

東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻 中須賀真一教授には論文作成にあたり、ご指導いただき大変ありがとうございました。