

## 超高効率インバータ駆動ターボ冷凍機を用いた 大温度差冷水供給システムの導入

高橋 貞良\* 中村 貴典\*\* 石原 慎也\*\*

### Chilled Water Feed System operable under Large Temperature Differences and equipped with High-efficiency Centrifugal Refrigerating Machine

by Sadayoshi TAKAHASHI, Takanori NAKAMURA, & Shinya ISHIHARA

A chilled water feed system, operable under large temperature differences and equipped with our newly developed high-efficiency, inverter-driven, centrifugal refrigerating machine, has been delivered to a gold ore mine. This system was designed to handle a 20°C temperature difference at system inlet (25°C) and outlet (5°C), and a refrigeration machine temperature difference of 12°C. This setup enables a refrigeration machine COP = 6.3 and system COP = 5.05. Under maximum load during the field test, a COP of 5.76 was attained. The chilled water temperature can also be controlled to minimize environmental impact in the mine. This system makes full use of the high-efficiency, inverter-driven, centrifugal refrigeration characteristics and is capable of reducing CO<sub>2</sub> emission during partial load and load fluctuation conditions.

**Keywords:** High-efficiency, Centrifugal refrigerating machine, Chilled water feed system operable under large temperature differences, Hishikari Mine, In-mine reduction of environmental impact, Pump electric power reduction, Coefficient of performance, System efficiency, Partial load, CO<sub>2</sub> reduction

### 1. はじめに

住友金属鉱山(株)菱刈鉱山 本山坑では建設当初から坑道冷却用に当社の冷凍機が順調に稼動していた。この度冷凍システム更新にあたり、新規に開発した超高効率インバータ駆動ターボ冷凍機<sup>1)</sup>を採用することにより高効率、省エネルギーの大温度差冷水供給システムを納入したのでここに概要を報告する。

### 2. 菱刈鉱山の特徴

#### 2-1 菱刈鉱山の概要

住友金属鉱山(株)菱刈鉱山(写真1)は鹿児島県北部(伊佐市)に位置し、菱刈鉱山の鉱床は「浅熱水性鉱脈型金銀鉱床」と呼ばれている。

今からおよそ100万年前に形成されたと考えられていて、地質学的にみると非常に新しい鉱床で、65°Cの温泉水を伴っている。



11-04 01/230

写真1 菱刈鉱山の全景

Photo 1 Overview of Hishikari mine

#### 2-2 坑道冷却

菱刈鉱山本山坑は1985年の出鉱開始以来、地熱の温熱による坑内作業環境の負荷を低減するため、従来からターボ冷凍機で製造した冷水を使用して採掘現場を冷却していた。しかし、次に挙げる冷水需要環境変化等の理由により、坑道冷却のための効率のよい冷却水送水システムの導入が必要となった。

\* 風水力機械カンパニー 産業システム事業統括部

\*\* 荏原冷熱システム(株)

第1案 The 1st proposal	第2案 The 2nd proposal	第3案 The 3rd proposal
省エネターボ冷凍機+混合弁方式 High-efficiency centrifugal refrigerating machine + mixing-valve system	省エネターボ冷凍機の直列使用方式 High-efficiency centrifugal refrigerating machine in-series use system	省エネターボ冷凍機+混合用水槽方式 High-efficiency centrifugal refrigerating machine + mixed tank system
<p>可変水量 Controllable amount 1000 (L/min)</p> <p>25°C</p> <p>混合弁 Mixing-valve</p> <p>冷凍機 Refrigerating machine</p> <p>5°C</p> <p>負荷へ供給 Supplied water</p> <p>負荷からの戻り水 Return water</p> <p>←5°C</p>	<p>一定水量 Constant amount 1000 (L/min)</p> <p>25°C</p> <p>冷凍機 Refrigerating machine</p> <p>15°C</p> <p>冷凍機 Refrigerating machine</p> <p>5°C</p> <p>負荷へ供給 Supplied water</p> <p>負荷からの戻り水 Return water</p>	<p>10°C</p> <p>冷凍機 Refrigerating machine</p> <p>一定水量 Constant amount = 4000 (L/min)</p> <p>可変水量 Controllable amount = 1000 (L/min)</p> <p>25°C</p> <p>高温側 Higher</p> <p>混合 Mixing</p> <p>低温側 Lower</p> <p>混合水槽 Mixed tank</p> <p>可変水量 Controllable amount of water = 1000 (L/min)</p> <p>5°C</p> <p>負荷へ供給 Supplied water</p>
<p>◎可変流量対応を混合弁で行え、シンプルである。 Flow change response can be held by mixing valve and operation is simple.</p>	<p>○省エネ性は良い設備構成が過大になり、流量変動に対応が難しい。 Although energy saving is favorable, response is difficult for flow change.</p>	<p>△混合水槽設置のためスペース確保が必要 Space is necessary for installation of mixing tank.</p>

図1 システム比較表

Fig. 1 System comparison table

(1) 鉱山規模の拡大に伴い、冷凍機を3台まで増設してきたが、効率のよいシステムが必要となった。

(2) 長年使用の既設冷凍システムの老朽化により運転管理が煩雑となってきた。

(3) 地球環境保全のため旧冷媒R-11から環境への負荷を配慮した新冷媒R-245faへの転換を図り、またエネルギー消費削減を考慮した。

### 3. 設備の概要

#### 3-1 冷水供給システムの検討

冷水配管が長距離にわたる坑道冷却では、冷水水量を低く抑えながら、作業エリアに発生する熱を冷却できるよう、冷水を大温度差で利用するため、大温度差に適合する冷凍機を中心としたシステム構成の最適化が求められた。

今回システムを検討するに当たり、既設設備の運転状況に基づき以下の3点に留意した。

(1) 冷水温度は入口25°C、出口5°C（最大温度差20°C）であるが、出口温度は5～15°Cの温度範囲内で任意に設定が可能なこと。

(2) 冷水供給流量は200～1500 L/minの範囲で、任意に設定が可能なこと（基準は1000 L/min）。

(3) 既設冷凍システムと比べ、年間25%の電力使用量の低減が図れること。

これらの条件でシステムの構成機器、省エネルギー運転、CO<sub>2</sub>削減等の観点からシステムを検討し、システム構成、それぞれの得失の比較を行った（図1）。

システム比較表3案のうち、冷水需要変動に対する制

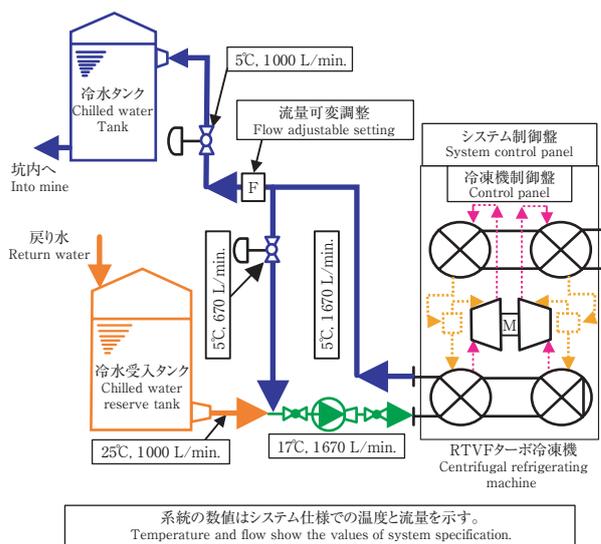


図2 大温度差冷水供給フロー

Fig. 2 Large temperature difference chilled water flow

御性やイニシャルコストなど、総合的に有利な第1案の「省エネターボ冷凍機+混合弁方式」を採用した大温度差冷水供給システムに決定した。

#### 3-2 大温度差冷水供給フロー

超高効率インバータ駆動ターボ冷凍機を主機とする大温度差冷水供給フローを図2に示す。

冷水受入タンクに入った工業用水（河川水+戻り水）は冷水供給ポンプで冷凍機に送り、所定の温度に冷却された後、冷水タンクに貯留し、坑内へ送られる。

写真2に超高効率インバータ駆動ターボ冷凍機の据付

外観を示す。本機は新規開発した「超高効率インバータ駆動ターボ冷凍機」の発売後契約1号機となった。

### 3-3 納入設備構成

今回納入した設備は超高効率インバータ駆動ターボ冷凍機、冷却塔、冷水供給ポンプ、冷却水ポンプとその制御システム一式である。そのシステム諸元を表1に示す。

### 3-4 制御概要

坑内の温熱による作業環境負荷低減のための冷水需要は年間を通じて発生する。時間や季節による冷水需要量の変動はあるが急激な変動は少ない。しかし、冬場の冷水需要に対し、十分な河川水の確保が難しい場合は一部坑内戻り水を循環させて利用が可能である。



11-04 02/230

写真2 超高効率インバータ駆動ターボ冷凍機

Photo 2 High-efficiency centrifugal refrigerating machine

表1 超高効率インバータ駆動ターボ冷凍機システム緒元  
Table 1 High-efficiency centrifugal refrigerating machine system specification

機器名称 Equipment name	仕様 Specification		台数 Number	動力 Power (kW)	備考 Remarks		
No.4 ターボ冷凍機 Refrigerating machine H71-R-04	型式 Model	RTVF040V 超高効率ターボ冷凍機 High-efficiency centrifugal refrigerating machine		1	222 (入力) Input 210 (出力) Output  6.5 kVA (補機出力) Auxiliary power		
	冷凍能力 Capacity	1395 kW 397 USRt					
	冷水条件 Chilled water condition	システム仕様 System spec.	機内仕様 Technical spec. for machine			インバータ駆動 Inverter drive	
			入口 Inlet				25℃
		出口 Outlet	5.0℃				5.0℃
	流量 Flow rate	1000 L/min.	1670 L/min.				
	冷却水条件 Cooling water conditions	入口 Inlet	32℃				
出口 Outlet		37℃					
流量 Flow rate		4660 L/min.					
No.4 冷却塔 Cooling tower H71-CT-04	冷却能力 Cooling capacity	1653 kW		1	5.5 × 2  インバータ駆動 Inverter drive		
	入口 Inlet	37℃					
	出口 Outlet	32℃					
	流量 Flow rate	4740 L/min.					
冷水供給ポンプ Chilled water feed pump H71-P-07	型式 Model	エバラ片吸込渦巻型 Back pull-out end suction volute pumps		1	7.5  直入れ駆動 Direct drive		
	流量 Flow rate	1670 L/min.					
	揚程 Total head	15 m					
冷却水ポンプ Cooling water pump H71-P-08	型式 Model	エバラ片吸込渦巻型 Back pull-out end suction volute pumps		1	30  インバータ駆動 Inverter drive		
	流量 Flow rate	4660 L/min.					
	揚程 Total head	22 m					

冷却水は冷却塔で冷却しているため冬場に冷凍機を運転した場合、外気温が低く冷却水の温度が低下し、冷凍機の性能が上がり、運転成績係数(COP値)すなわち運転効率を高くすることが可能になる。図3にRTVF040V(冷水入り口温度17℃-出口温度5℃) 推定部分負荷特性を示す。この冷凍機は冷却水温度が低下すると非常に高い運転成績係数を示す機種であることが分かる。

必要な冷水供給温度に対して冷凍機の制御運転により、冷水の目標出口温度を5.0℃から15.0℃の間で任意に設定できるようにした。作業環境負荷に合わせた冷水温度を任意に設定することにより、年間COP値を改善でき、運転効率のよい省エネルギー運転が可能である。

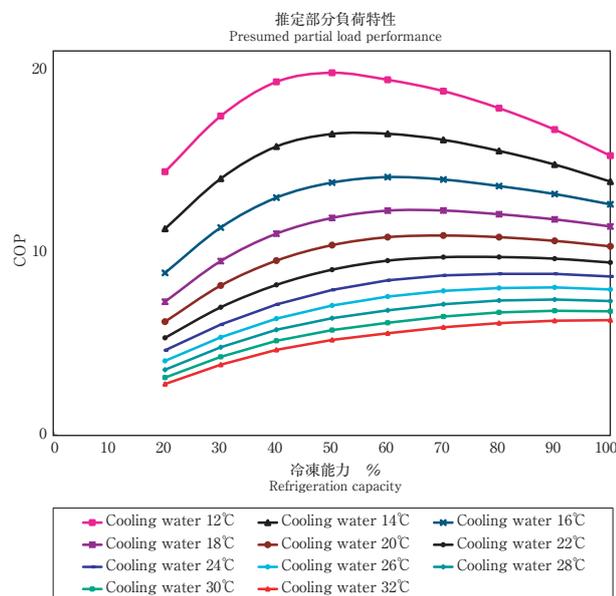


図3 RTVF040V (冷水17℃ - 5℃) 推定部分負荷特性  
Fig. 3 Presumed partial load performance of RTVF040V (Chilled water 17℃ to 5℃)

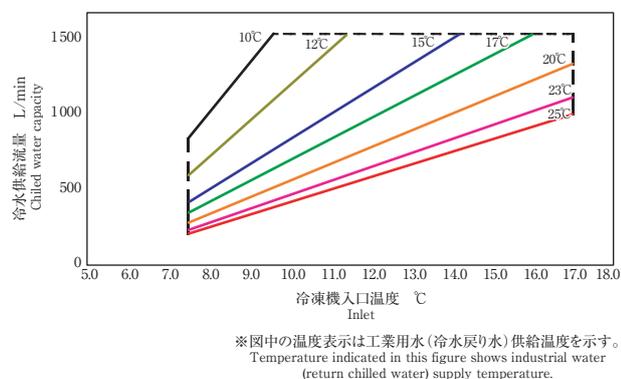


図4 工業用水水温変動時の運転範囲 (10 ~ 25℃)  
Fig. 4 Operating rang of industrial water load fluctuations

坑内の作業エリアによって冷水供給量は変化する。しかし、冷凍機の運転制御を安定させるため、冷水供給ポンプは一定水量を送水している。このため、冷水供給量と冷水ミキシング後の冷凍機入口温度を適切に制御することで冷凍機は安定した高効率運転ができる。しかしながら冷凍機の運転範囲において冷水受け入れタンク内の水温が低下すると、冷凍機の効率運転が維持できなくなることがある。今回の運転制御では坑内への冷水供給水量を優先させるため、冷水受け入れタンク内の水温が低下し、冷凍機の効率運転が制御できなくなる場合、軽警報を発報する(軽警報とは運転継続し、盤面表示とブザー発報)ことにより注意を喚起するようにしている。図4に工業用水水温変動時の運転範囲を示す。

### 3-5 設備COP値比較

今回インバータ駆動超高効率ターボ冷凍機の採用により、システムの設計条件である年間消費電力量25%削減という目標の省エネルギー運転が達成可能な設備構成になった。表2に既設と新設の冷凍機と設備それぞれのCOP比較を示す。

## 4. 設置後の運転状況

図5に試運転時の負荷運転状況を示す。試運転時期としては負荷が少なく工業用水(河川水+戻り水)の温度が低かったが、冷凍機能力の確認はできた。この時の負荷運転中のシステムCOP値は「5.76」を示した。今後設備の

表2 設備COP値比較  
Table 2 Facility coefficient of performance

機器名称 Equipment name	型式 Model	冷凍能力 Capacity (kW)	冷凍機COP Refrigerator coefficient of performance	設備COP Facility coefficient of performance	備考 Remarks
No.4 ターボ冷凍機 Refrigerating machine H71-R-04	RTVF040V	1395 kW	6.3	5.05	今回新設 New construction
No.3 ターボ冷凍機 Refrigerating machine	19DH230EC	882 kW	4.1	3.50	No.4号機に更新撤去 Renewed to No. 4
No.2 ターボ冷凍機 Refrigerating machine	19DH160E	697 kW	4.5	4.00	既設継続使用 Continued use of existing facility
No.1 ターボ冷凍機 Refrigerating machine	19DH160E	813 kW	4.4	3.68	既設継続使用 Continued use of existing facility

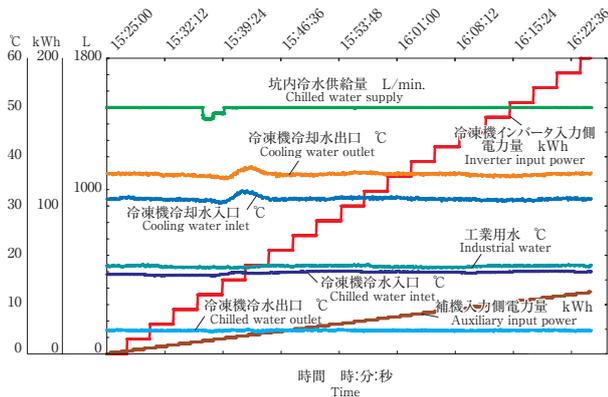


図5 試運転時の負荷運転状況  
Fig. 5 Operation condition load data during field-test

安定運転が確認できて順調に運転すると、目標の年間電力使用量の25%削減は達成できるものと考えている。

次に2010年夏季運転実績をもとに採取したデータを図6に示す。この運転実績データから5、6月の中間期と夏季高負荷時にも冷凍機本体のCOP値は想定以上に高効率運転が行われていることを確認した。2010年夏の負荷状況の運転データから熱負荷に対する冷凍機能力には十分な余裕が有り、将来の熱負荷の増加に対しても十分対応可能である。また今後は最適化された運転、冷凍機・冷却塔の清掃及び保守管理を行うことにより、運転効率を維持できると考える。

### 5. あとがき

以上設備とシステムの概要を述べ、併せて試運転結果の一部を報告した。

本設備の導入により当社の開発した「超高効率インバータ駆動ターボ冷凍機」と大温度差冷水供給システムが省エネルギー効果を十分に発揮し、今後の運転管理、より一層の環境負荷低減への一助となれば幸いである。

本システムのように、冷水大温度差の熱源システムは、冷水の搬送動力や設備費が低減できる省エネルギー性か

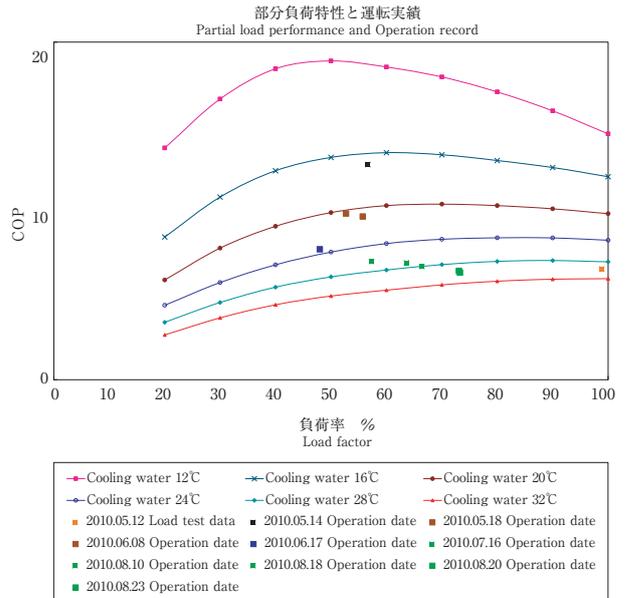


図6 夏季最大負荷時の運転状況  
Fig. 6 Operation conditions during max. summer load.

ら用途拡大が期待されている。

今後本冷凍機と大温度差冷水供給システムでの省エネルギー効果を十分に発揮できる設備構築及び展開のためには、冷水二次側熱交換器等の大温度差熱交換の有効性実証や普及が望まれる。

最後に住友金属鉱山(株)菱刈鉱山 工作課の方々の御指導及び本技術に深いご理解を示され、設計及び建設に際して多大なご協力を頂いた関係各位に感謝の意を表す。

本システムの主機である「超高効率インバータ駆動ターボ冷凍機」は(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の「エネルギー使用合理化技術戦略開発」として採択され共同研究を実施し、その成果をもとに製品化に至ったものである。

### 参考文献

- 1) 山口 司ほか：超高効率ターボ冷凍機の開発，エバラ時報，No.224 (2009)