

Er_xHo_{1-x}N 蓄冷材の充填率および粒径の冷凍性能への影響

Effects of filling ratio and particle size of Er_xHo_{1-x}N regenerator on cooling power

中川 貴、正田 康平、宮内 隆至、清野 智史、山本 孝夫、藤本 靖(阪大);
増山 新二(大島商船高専); 高田 裕章、栗岩 貴寛、山本 和彦(三徳)

NAKAGAWA Takashi, SHODA Kokei, MIYAUCHI Takayuki, YAMAMOTO Takao, FUJIMOTO Yaushi (Osaka Univ.);
MASUYAMA Shinji (NIT, Oshima College); TAKATA Hiroaki, KURIIWA Takahiro, YAMAMOTO Kazuhiko (Santoku Co.)
E-mail; nakagawa@mit.eng.osaka-u.ac.jp

1. 緒言

超伝導磁石の冷却などに用いられる Gifford-McMahon (GM) 冷凍機の性能は、蓄冷器に充填する蓄冷材の比熱により左右される。4 K まで冷却できる GM 冷凍機の蓄冷材には HoCu₂ が用いられているが、更なる冷凍能力の向上には、より高性能な材料の開発が必要である。我々の研究グループは強磁性希土類窒化物のうち、希土類元素が Er と Ho からなる Er_xHo_{1-x}N は、組成 x に応じて 4~12 K に大きな磁気比熱のピークを有する物質で、熱伝導度もステンレス程度であることを報告している¹⁾。

実測した Er_xHo_{1-x}N の比熱と電気伝導度を蓄冷性能計算コード REGEN 3.3 に入力して冷凍能力を算出すると、 $x \geq 0.75$ の組成では、4.2 K での冷凍能力は既存材料の HoCu₂ を上回るとの結果が得られている²⁾。ところが実際に 0.1 W 4K-GM 冷凍機(SHI, SRDK-101D)に HoCu₂ の代わりに Er_xHo_{1-x}N を実装して冷凍能力を測定すると、HoCu₂ と同等かそれ以下の性能に留まっている。この原因として、出発合金の含有酸素の影響が考えられる³⁾。酸素含有量の多い合金を熱間等方加圧法で窒化すると、表面が突起様状態に荒れて、突起下層に空孔が発生してしまう。これらのことにより蓄冷器内への Er_xHo_{1-x}N の充填量が減少することに起因して、冷凍能力が低下するためと考えられる。また、粒子径も冷凍能力に影響すると考えられる。そこで、本研究では、酸素含有量と粒子径の異なる合金を出発原料として Er_xHo_{1-x}N 球を合成し、冷凍機に実装した場合にどのように冷凍能力に影響するのかを比較した結果を報告する。

2. 実験

酸素含有量が 1.10 wt. % の Er 金属球を篩で 180-212 μm 、212-250 μm 、250-300 μm に分級し、それぞれを 200 MPa、1550°C の窒素雰囲気中で窒化した。酸素含有量が 0.54 wt. % でサイズが 188-212 μm 酸素含有量が 0.54 wt. % でサイズが 188-212 μm の Er_{0.75}Ho_{0.25}N 合金球と、酸素含有量が 0.35 wt. % で 150-180 μm と 188-212 μm に分級した Er_{0.75}Ho_{0.25} 合

金球も Er 金属と同様の条件で窒化した。ヘプタン中で超音波処理することで得られた試料の表面の突起を取り除いた。また、生成相は X 線回折(XRD)で調査した。0.1 W 4K-GM 冷凍機(SHI, SRDK-101D)の 2 段目蓄冷器に Pb と希土類窒化物の体積比が 6 対 4 となるように低温端側に希土類窒化物を充填し、4.2 K 付近での冷凍能力を測定した。

3. 結果と考察

XRD パターンは窒化物が主相ではあったが、いずれの試料もわずかに酸化物のピークが観測された。表に 2 段目蓄冷器に充填できた試料量(Filling mass)を示す。実質充填量(Net filling mass)とは、出発金属中の酸素が全て希土類酸化物となったと仮定し、充填量から計算された酸化物量を引いた値で、窒化物の実質的な充填量を意味する。また、表には、それぞれの蓄冷材を用いた冷却実験における 4.2 K での冷凍出力と最低到達温度も合わせて掲載している。

同じ物質でサイズによる影響を比較してみると、サイズが小さいほど 4.2 K での冷凍能力が高いことがわかる。REGEN 3.3 で計算すると 400 μm 以下では冷凍能力は一定となるが、実際の実験では、サイズの影響を受ける事が観察された。

また、希土類窒化物の実質充填率は最大でも 52% で HoCu₂ に比べて 10% も低いにもかかわらず、粒子径が最小の 150-180 μm の Er_{0.75}Ho_{0.25}N を用いると冷凍性能は HoCu₂ とほぼ同等であることから、実質充填率を増加させることができれば、冷凍能力はより向上すると考えられる。

References

- 1) T. Nakano *et al.*, *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.* Vol. 1492 (2013) 53-58.
- 2) T. Miyauchi *et al.*, *Abstracts of CSSJ Conference* Vol. 89 (2014) 41.
- 3) K. Shoda *et al.*, *J. Cryo. Super. Soc. Jpn.* Vol. 50 (2015) 132-136.

Table Description of the present regenerators and some data of cooling experiments with them

Sample	Oxygen cont. (wt. %)	Size (μm)	Filling mass (g)	Net Filling mass (g)	Net space filling ratio (vol. %)	Cooling power at 4.2 K (W)	Lowest Temp. (K)
ErN	1.10	250-300	40.6	37.9	50.3	0.111	3.38
		212-250	41.6	38.2	50.8	0.126	3.28
		180-212	41.2	37.3	49.6	0.132	3.21
Er _{0.75} Ho _{0.25} N	0.541	180-212	33	32	43	0.152	2.72
	0.348	180-212	40	39	52	0.209	2.39
		150-180	40	39	52	0.263	2.41
HoCu ₂	---	180-300	40	40	62	0.255	2.21

小型 2K GM 冷凍機試作機の開発

Development of compact 2K GM cryocooler prototype units

包 乾, 土屋 彰広, 許 名堯, 李 瑞 (住重)

BAO Qian, TSUCHIYA Akihiro, XU Mingyao, LI Rui (SHI)

E-mail: qin_bao@shi.co.jp

1. はじめに

量子情報通信技術は従来の電磁気学と光学に基づいた通信技術では超えられない通信密度の上限を突破できると期待されている。光の量子状態を自在に制御するための第一歩として単一光子検出技術の開発は最も困難だと言われながら、継続的に情報通信研究機構で行われている[1]。この単一光子検出システム SSPD(Superconducting single photon detector)は、微弱な光子信号を正確に検出するため成るべく低い温度環境を要求し、またコンパクトにシステムを構築するため極低温冷凍機のサイズにもより小型であることを要求することになる。そこで我々は SSPD 開発の一環として 2 K 付近まで到達できる世界最小の小型 GM 冷凍機を開発してきた。

本発表では開発で用いられた要素技術を説明し、最新の試作機の進捗を報告する。

2. 短縮化要素技術

現在、製品として市場にある小型 4K 冷凍機として住友重機械製の SRDK-101D が挙げられる。SRDK-101D は駆動部を含め全長 442 mm であることに對し、本開発の試作機は全長 300 mm 以下に短縮されている。最新試作機と SRDK-101D の外観を比較した写真を Fig.1 で示す。

短縮化に伴って GM 冷凍機のキーコンポーネントとも言われる蓄冷器も短くなり、蓄冷器効率の低下と共に冷凍能力も低下すると想定される。そこで本開発は、新型蓄冷材を 2 段蓄冷器に導入し、短い蓄冷器でも高冷凍能力を実現することに成功した。Fig.2 に 2 段蓄冷器の充填パターンを示す。

本設計の 2 段蓄冷器高温側温度は 15-35 K と設定されている。その温度域において新しく導入した蓄冷材の亜鉛は従来のビスマスに比べて比熱が低い。比熱が極端に低い場合、当然蓄冷器効率は悪化するが、亜鉛の比熱は僅かにビスマスより低く、それによって、運転中その領域に滞留するヘリウムの温度がビスマスで充填する場合より高くなり、蓄冷器内に溜まるヘリウムの量が減少し、結果として冷凍能力が向上される。この効果はシミュレーションと実証実験の両方で検証されている[2]。

低温側では磁性蓄冷材 GOS を導入した。GOS は 5 K 付近に比熱のピークが存在し、2 K 付近においても従来蓄冷材の HoCu_2 の 2 倍程度の比熱を有する。これによって 2 K 付近での冷凍能力も向上される。

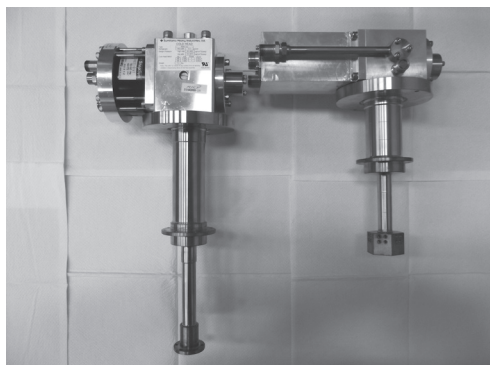


Fig.1 The new prototype cryocooler compared to the SRDK-101D cryocooler.

Table 1 Simulation results of cooling capacity and losses of the latest prototype unit compared with previous prototype unit

Item (W)	latest prototype	previous prototype
1 st stage PV power	16.2	13.8
2 nd stage PV power	2.47	2.59
1 st stage regenerator loss	4.59	3.76
2 nd stage regenerator loss	0.04	0.04
1 st stage net cooling capacity at 45 K	4.7	4.0
2 nd stage net cooling capacity at 4.2 K	0.12	0.13

また今年度の試作機では蓄冷器の短縮に伴う冷凍能力の低下を補うため、1 段膨張室を 1 割程度拡大した。Table.1 に今年度の試作機的设计パラメータをシミュレーションプログラムに反映し、計算を行った結果を示す。昨年度の試作機と比較すると[3]、1 段蓄冷器損失は短縮化に伴って若干増えているが、冷凍能力は膨張室が拡大されたため保持されていることが示された。また 2 段に関しては、昨年度の試作機と比較すると、長さが 3 mm 短縮されたものの、冷凍能力は同程度に維持されている。

本設計で封入圧を 1.95 MPa(20°C 基準)、サイクル周波数を 1 Hz に設定して運転する場合、無負荷状態での 1 段温度 / 2 段温度は 46.3 K / 2.22 K に到達できた。

3. まとめ

超伝導電子デバイスの使用に望ましい温度環境を提供するため、コンパクト性と低い到達温度を両立した小型 GM 冷凍機を開発した。今後は駆動部分のさらなる小型化と性能安定性の評価を行う予定。

本研究成果は、独立行政法人情報通信研究機構 (NICT) の委託研究(光・量子情報通信用超伝導単一光子検出システムの小型化技術に関する研究開発)により得られたものです。

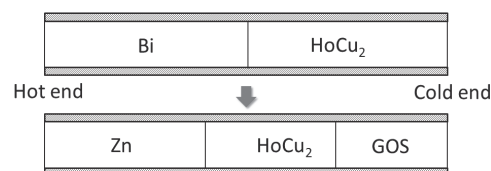


Fig.2 Filling pattern inside the second-stage regenerator after introducing new material.

参考文献

1. S. Miki, T. Yamashita, M. Fujiwara, M. Sasaki and Z. Wang, *Optics Letters* 35 (13) (2010) 2133-2135
2. M. Xu and T. Morie, *Advances in Cryogenic Engineering, AIP Conference Proceeding* 1573 (2014) 1143-1148
3. Q. Bao, M. Xu, A. Tsuchiya, R. Li, *TEION KOGAKU* 50 (2015) 125-131

GM 冷凍機の 2 段階蓄冷器内に挿入された円筒パイプによる冷凍能力の改善

Improvement of the cooling power by a cylindrical pipe inserted in the second stage regenerator of a GM cryocooler

増山 新二 (大島商船高専)

MASUYAMA Shinji (National Institute of Technology, Oshima College)

E-mail: masuyama@oshima-k.ac.jp

1. はじめに

蓄冷式冷凍機において、4K レベルでの冷凍能力を改善するための手段の一つとして、蓄冷材の比熱特性に注目することが多い。特に 2 段階蓄冷器の低温側に充填される蓄冷材の比熱特性が重要視されている。一方、Xu らは、2 段階蓄冷器の高温側の熱容量をあえて小さくすることで、4.2 K の冷凍能力が改善されるという解析結果を報告[1]している。これは、熱容量を調節し蓄冷器内の温度分布を変化させることで、結果的に 2 段階膨張空間の PV 仕事の増加につなげることができている。つまり、蓄冷器内のヘリウムをより効率的に利用する試みであると言える。

そこで本研究は、2 段階蓄冷器の高温端温度を変化させることで起因するヘリウムの物性変化に注目するとともに、新たに導入された蓄冷器構造において、4.2 K での冷凍能力を調査することを目的として実施された。以下に、蓄冷器構造、実験結果を述べる。

2. 2 段階蓄冷器構造の概略と GM 冷凍機

2 段階蓄冷器構造を Fig. 1 に示す。(a) は二層構造 (以下、Normal とする) で、高温側に Pb 球、低温側に HoCu₂ 球が充填されてある。蓄冷材の体積割合は、それぞれ 50%である。(b) は、今回新たに導入された蓄冷器構造で、Pb 側に円筒状のステンレス (SUS) パイプが挿入されてある。本研究では、三種類の SUS パイプ (Type I, II, III) を挿入した時の冷凍性能を調査した。使用されたパイプの外径を Table 1 に示す。パイプの肉厚は、いずれも 0.5 mm である。Table 1 には、さらに、パイプ挿入時の内側の蓄冷器断面 A_i と外側の蓄冷器断面 A_o の比、ならびにパイプの熱伝導損失の計算結果を示す。

試験に使用した 2 段階 GM 冷凍機は、コールドヘッド:RDK-408D2 (SHI)、圧縮機:C300G (SUZUKISHOKAN) で、電気入力 7.3 kW である。冷凍機の動作周波数は 1.2 Hz、ヘリウムガスの初期封入圧力は 1.6 MPa 一定とした。

3. 冷凍性能試験方法・結果

室温から運転された GM 冷凍機は、各ステージに取り付けである電気ヒータにより、2 段階ステージを 4.2 K に固定し、1 段階ステージの熱負荷を変化させた。4.2K での冷凍能力と 1 段階ステージ温度の関係を Fig. 2 に示す。Normal を含めたすべてのタイプとも、1 段階ステージへ熱負荷を加えない状態では、到達温度 (~24 K)、4.2 K の冷凍能力 (~1.1 W) には、大きな違いが生じていない。その後、熱負荷を加えると、Normal では、40 から 57 K まで、冷凍能力は改善するものの、ほぼ一定値 (1.23 W) を示している。これは、1 段階ステージの温度を上げることで、2 段階蓄冷器の高温側に存在していたヘリウムガスが 2 段階膨張空間へ流入し、PV 仕事が増加したことが原因であると思われる。しかしながら、同時に蓄冷器のエンタルピー損失も増加するため、それらのトレードオフで能力が決定されていると考えている。

つぎに、パイプを挿入した時の Type I, III においては、50 K 付近で冷凍能力の最高値 1.39 W を発揮している。これは、Normal と比較すると 13% もの性能改善である。冷凍能力が改善された理由として、パイプによって新たな壁が蓄冷器内に存在し、それがヘリウムをより一次元的な流れに矯正することで PV 仕事が大きく増加したためであると考えている。つまり、

パイプは整流効果を生じさせているようである。その一方で、Type II では 40 K より高い温度領域で冷凍能力の低下が見られている。これは、蓄冷器内の位置に依存して、ヘリウムの流れ方が違うことを示していると考えている。

4. まとめ

GM 冷凍機の 2 段階蓄冷器内に、新たな蓄冷器構造として、円筒状の SUS パイプを挿入し性能試験を行った。研究結果から、適切なサイズのパイプを挿入することは、蓄冷器内のヘリウムを整流するような効果が働き、4.2 K の冷凍能力の改善につながることを実証された。

謝辞

本研究は、科学研究費助成事業 (基盤研究(C)15K06693) の一部により実施された。

参考文献

1. M. Xu and T. Morie: *Advances in Cryogenic Engineering* **59B** (2014), pp. 1143-1148

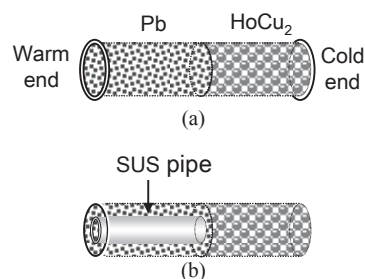


Fig. 1. Schematics of two types of the 2nd stage regenerator, (a) two layer layout, (b) two layer layout with stainless steel pipe.

Table 1. Specifications of the three types of the SUS pipes.

Type	Outer dia. [mm]	A_i/A_o ratio*	Conduction loss** [mW]
I	10	0.10	44.0
II	15	0.50	81.3
III	22	1.1	99.9

* A_i/A_o ratio is the values of inside area divided by outside area.

**Calculated conduction loss from 60 K to 4.2 K.

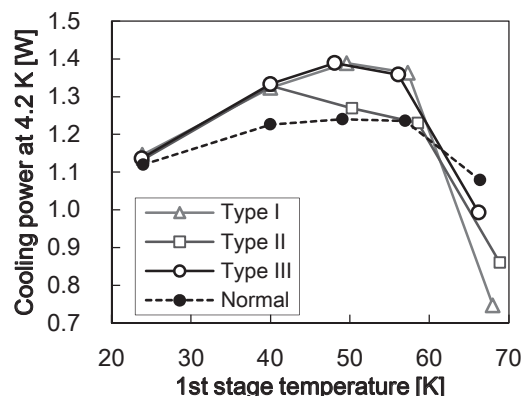


Fig. 2. Experimental results of the cooling power at 4.2 K as a function of the 1st stage temperatures.

ディスプレイサパルス管冷凍機のリニアコンプレッサーマッチコールドヘッド

Linear Compressor Match Cold Head in Displacer Pulse Tube Refrigerator

朱 紹偉(同濟大学)
 ZHU Shaowei (Tongji University)
 E-mail: swzhu2008@yahoo.com

1. INTRODUCTION

In a displacer type pulse tube refrigerator, there is a matching problem between the cold head and linear motor. For a given linear compressor, there is a maximum displacement amplitude and rated current. The displacement amplitude is limited by the strains of flexible spring. In general case, it is about 5-15mm, depending on the size of the linear motor. There is a rated current, too. If the operating current is over the rated current, Joule loss may be too large to let the coil of the linear motor over heat. So we need to adjust the diameter and weight of the piston, the dead volume between the after cooler and the piston head, voltage of power source to let the linear motor match the cold head.

2. STRUCTURE

Figure 1 shows the schematic of the displacer type tube pulse tube refrigerator. A displacer with rod is phase shifter. A linear compressor supplies power. The power source is AC current. The dead volume between after cooler and piston head which includes connecting tube, gas distribution of after cooler, and the dead volume between piston head and cylinder head is an important parameter. Here the dead volume is represented by a piston balance distance which is the distance between piston head and cylinder head when piston is at no moving condition. The linear motor should work at resonant point. The resonant point of the linear motor is defined as that the velocity of the piston and the current is in phase so that the current is minimum when the stroke and the input power is fixed.

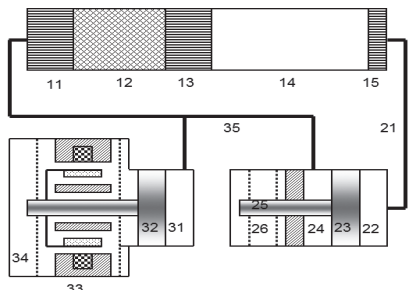


Figure 1 Displacer type pulse tube refrigerator
 11. after cooler 12. regenerator 13. cold heat exchanger 14. pulse tube 15. gas smoother 21. displacer connecting tube 22. displacer front space 23. displacer 24. displacer back space 25. displacer rod 26. displacer spring 31. Compression space 32. piston 33. linear motor 34. motor spring 35. compressor connecting tube

3. NUMERICAL RESULTS

Figure 2 shows the piston balance distance effect to the resonant point of the linear motor. Short balance distance means strong gas spring force and gas spring stiffness, so there is an optimum balance distance to let the phase angle difference between current and piston speed near zero, the minimum current point is near the zero phase angle difference point.

Figure 3 shows the motor moving mass effect. With different piston diameter and motor moving mass, the balance distance is different. Light moving mass and bigger diameter need long piston balance distance. In another words, if long connecting tube or higher frequency is needed, light motor moving mass and bigger piston diameter would be needed.

Figure 4 shows the voltage and motor mass effect to displacement amplitude and current at piston diameter 160mm.

It is shown that the displacement amplitude and current can be independently chosen with the change of motor moving mass and voltage. If piston diameter is changed, we can get another displacement and current map.

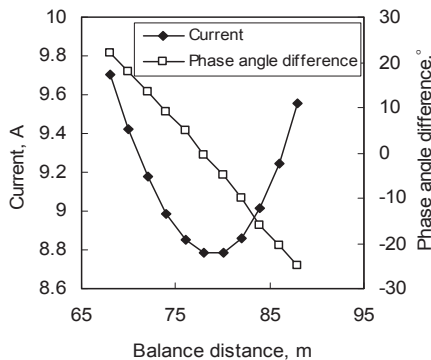


Figure 2 Resonance point of linear motor

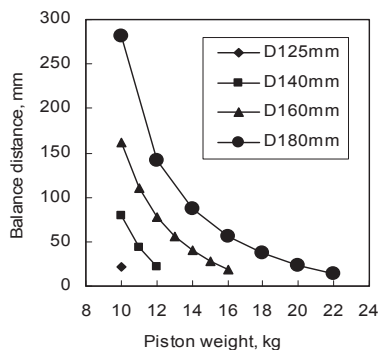


Figure 3 Piston balance distance

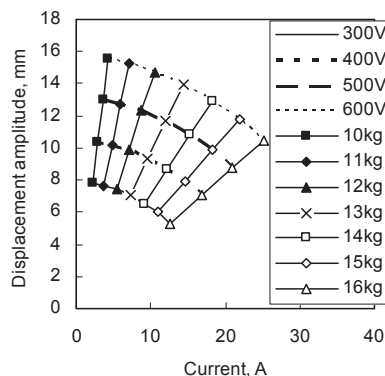


Figure 4 Displacement amplitude and current

4. CONCLUSION

For a given piston diameter and motor moving mass, there is a piston balance distance to let the linear motor work at resonant point. Large piston diameter and light motor moving mass need long balance distance. For a given piston diameter, displacement amplitude and current can be independently chosen with the change of piston weight and voltage.

REFERENCE

1. Shaowei Zhu, et al, Cryogenics 50(2010) pp320-330.

輸送機器用高効率冷凍機の開発(1): 圧縮機の特性解析

Development of High Efficiency Cryocooler for Transportation Equipment (1): Characteristic Analysis of Compressor

中村 武恒, 志村 拓俊, 渡邊 潤 (京大); 大橋 義正 (アイシン精機); 小笠 卓郎, 雨宮 尚之 (京大)
 NAKAMURA Taketsune, SHIMURA Hiroto, WATANABE Jun (Kyoto Univ.); OHASHI Yoshimasa (AISIN SEIKI);
 OGASA Takuro, AMEMIYA Naoyuki (Kyoto Univ.)
 E-mail: tk_naka@kuee.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

我々は、JSTのALCAプロジェクトとして、輸送機器への適用を目指した高温超電導誘導同期モータ(High Temperature Superconducting Induction/Synchronous Motor: HTS-ISM)とそのシステム化に関する研究開発を推進している[1-3]。本プロジェクトでは、HTS-ISMだけでなく小型・高効率冷凍機の研究開発も実施している。本講演では、冷凍機用圧縮機の励磁系について解析的検討を行ったので報告する。

2. 圧縮機の仕様

Fig. 1には、試作した冷凍機圧縮部の外観写真を示す。2台のリニアアクチュエータ(単相, 最大ストローク: 10 mm)が対向しており、フレクシャベアリングと共に圧縮系が構成されている。

3. 解析モデルと方法

Fig. 2には、アクチュエータ部の二次元軸対称解析モデルを示す。(株)JSOLのJMAG-Designer[®]を利用して、フレクシャベアリングのばね定数や粘性項を考慮した運動方程式と上記モデルを連成させて解析した。なお、外部回路条件は単相電流源であり、可動子の運動条件は強制変位とした。

4. 解析結果と考察

Fig. 3には、有効電力-変位振幅特性の解析結果を示す。当初、強制電流波形として基本波成分のみを与えたところ、変位が5 mm程度以上になると、試験結果[4]と乖離した。電流波形のパワースペクトルを分析したところ、3倍高調波が大きく影響していることが分かった。そこで、電流波形に当該高調波を重畳して再解析したところ、図のようによく一致した。

Fig. 4には、変位10.0 mm, 駆動周波数58 Hz, 電流振幅10.5 Aにおける効率(および力率)と電流-変位位相角の関係を示す。力率が高く、また最大効率(=機械出力/入力電力)は90%に達している。詳細は、講演当日に報告する。

謝辞

本研究は、(独)科学技術振興機構(JST)のプロジェクト“H24年度戦略的創造研究推進事業 先進的低炭素化技術開発(ALCA)”「低炭素社会を支える輸送機器用超伝導回転機システム」の一環として実施されたものである。

参考文献

1. 中村武恒: 電気学会誌, Vol. 130, No. 12 (2010) pp. 828-831
2. 中村武恒: 低温工学, Vol. 47, No. 6 (2012) pp. 384-391
3. 中村武恒: 応用物理, Vol. 82, No. 7 (2013) pp. 579-582
4. 渡邊潤 他: 2015年度春季低温工学・超電導学会 (2015) 2D-a06



Fig.1 Photograph of compressor part of cryocooler

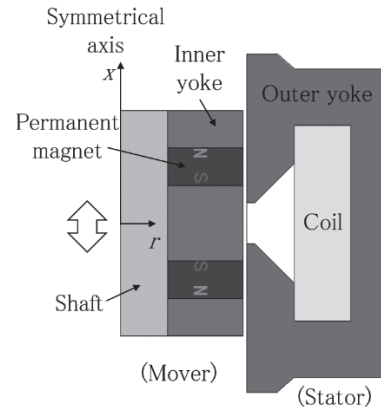


Fig. 2 Axisymmetric analysis model of linear actuator

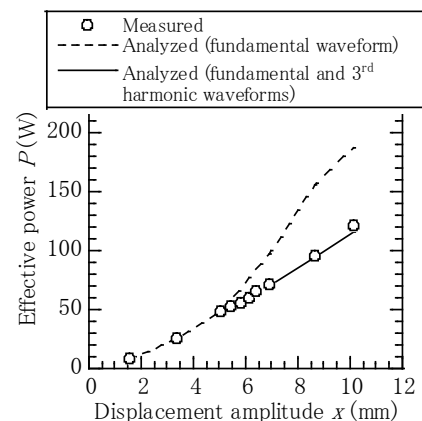


Fig. 3 Analysis results of effective power vs. displacement amplitude characteristics

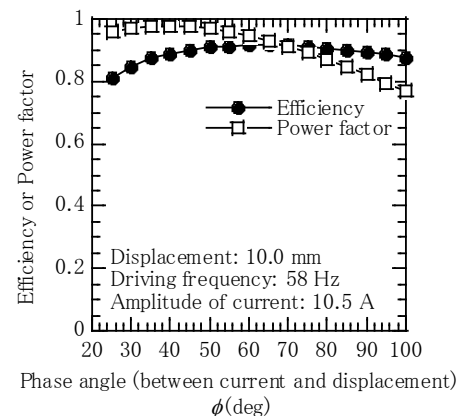


Fig. 4 Analysis results of efficiency and power factor vs. phase angle between current and displacement

輸送機器用高効率冷凍機の開発(2): 圧縮機の試験結果

Development of High Efficiency Cryocooler for Transportation Equipment (2) : Tested Results of Compressor

渡邊 潤, 中村 武恒, 志村 拓俊 (京大); 大橋 義正 (アイシン精機); 小笠 卓郎, 雨宮 尚之 (京大)
WATANABE Jun, NAKAMURA Taketsune, SHIMURA Hirotohi (Kyoto Univ.); OHASHI Yoshimasa (AISIN SEIKI);
OGASA Takuro, AMEMIYA Naoyuki (Kyoto Univ.)
E-mail: j-watanabe@asl.kuee.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

我々は、JSTのALCAプロジェクトとして、輸送機器への適用を目指した高温超電導誘導同期モータ(High Temperature Superconducting Induction/Synchronous Motor: HTS-ISM)とそのシステム化に関する研究開発を推進している[1-3]。本プロジェクトでは、HTS-ISMだけでなく小型・高効率冷凍機の研究開発も実施している。本講演では、前報[4]に引き続き、冷凍機用圧縮機の試験を行ったので報告する。

2. 圧縮機の諸元

本研究における冷凍機は、77 Kでの冷凍出力200 W以上を想定している。Fig. 1には、圧縮機の外観写真を示す。圧縮機は、対向する同一のムービング型リニアアクチュエータで構成されている。可動部は、非線形なバネ定数を持つフレクシヤベアリングのみにより固定子に固定されている。最大推力は、基準位置において33 A通電時で1700 Nを想定しており、圧縮機ピストンは直径40.0 mm、ストローク長は最大±10.0 mmで設計されている。

また、圧力と容積の位相差を与えるために、圧縮空間に直列にニードルバルブおよび容積1000 ccのバッファタンクを接続した。

3. 試験方法と結果

圧縮機内部にHeガス(2.5 MPa)を封入し、リニアアクチュエータを作動させて負荷試験を行った。入力は、電流型インバータによって制御した。インバータの入力を一定にして、周波数およびニードルバルブの開度を変化させた場合の圧縮仕事を測定した。また、電流波形を矩形波、三角波に変えた場合の圧縮機の特性を評価した。

Fig. 2には、電力(仕事)－駆動周波数の試験結果(変位±7 mm程度)の一例を示す。同結果より、1700~2000 W程度の有効電力が得られており、皮相電力との差も小さく高い力率が実現されている。しかしながら、圧縮部効率(=圧縮仕事/入力電力)については、試験系の問題や最大ストロークに達していないこともあり、まだ50%程度であることから、再試験を検討中である。

4. 冷凍機の試作

Fig. 3に、本圧縮機を圧縮部としたパルス管冷凍機の外観写真を示す。本研究では、試作冷凍機の冷却特性評価を行った。詳細については講演当日に報告する。

謝辞

本研究は、(独)科学技術振興機構(JST)のプロジェクト“H24年度戦略的創造研究推進事業 先進的低炭素化技術開発(ALCA)”「低炭素社会を支える輸送機器用超電導回転機システム」の一環として実施されたものである。

参考文献

1. 中村武恒: 電気学会誌, Vol. 130, No. 12 (2010) pp. 828-831
2. 中村武恒: 低温工学, Vol. 47, No. 6 (2012) pp. 384-391
3. 中村武恒: 応用物理, Vol. 82, No. 7 (2013) pp. 579-582
4. 中村武恒 他: 2015年度春季低温工学・超電導学会(2015) 2D-a05

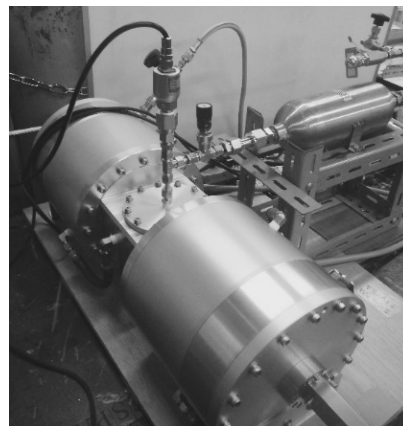


Fig. 1 Photograph of fabricated compressor for cryocooler

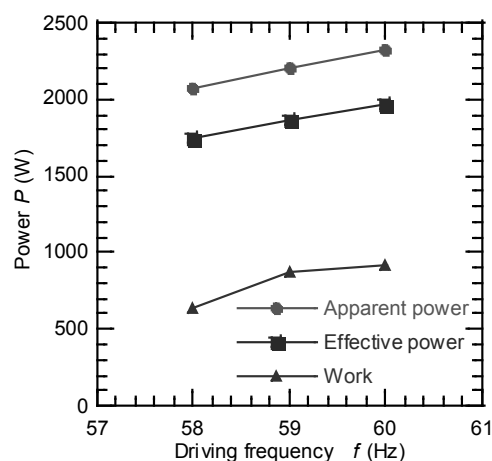


Fig. 2 Tested results of power (work) vs. driving frequency (displacement: approx. 7 mm)

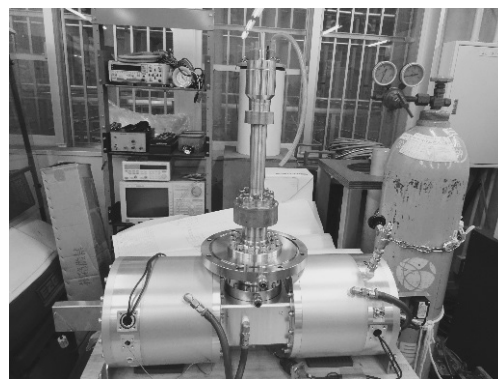


Fig. 3 Photograph of a pulsetube cryocooler setup