

外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール「BEST」の開発（その 111）

吸収式冷凍機・ヒートポンプの新規モデルの特性

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part 111)
Characteristics of Newly Adopted Absorption Chillers and Heat Pumps

正会員 ○小川 聡嗣（東邦ガス） 正会員 藤居 達郎（日立製作所）
正会員 工月 良太（東京ガス） 石崎 修司（パナソニック）
正会員 品川 浩一（日本設計） 技術フェロー 柳井 崇（日本設計）
特別会員 村上 周三（建築環境省エネルギー機構） 技術フェロー 石野 久彌（首都大学東京名誉教授）

Soshi OGAWA *¹ Tatsuo FUJII *² Ryota KUZUKI *³ Shuji ISHIZAKI *⁴
Koichi SHINAGAWA *⁵ Takashi YANAI *⁵ Shuzo MURAKAMI *⁶ Hisaya ISHINO *⁷
*¹ Toho Gas Co., Ltd. *² Hitachi, Ltd. *³ Tokyo Gas Co., Ltd. *⁴ Panasonic Corp. *⁵ Nihon Sekkei, Inc.
*⁶ Institute for Building Environment and Energy Conservation *⁷ Tokyo Metropolitan University

In order to construct low emission buildings and heat providing plants, thermally driven chillers and heat pumps have important role in utilizing heat from Co-generation systems, solar heat collectors and other low temperature heat sources. BEST sectional committee of heat source equipment is studying characteristic of absorption chillers and heat pumps, and adopting them to the BEST Program, with the support of JRAIA Expert Committee of Absorption Chillers Technology. In this part 111, following three types of newly developed models of absorption machines are introduced. (1) Hot Water Driven Single-Effect Absorption Chiller, (2) Steam Driven Absorption Chiller with Improved Annual Efficiency, and (3) Double Output Absorption Heat pump Chiller.

はじめに

吸収式冷凍機・ヒートポンプに関しては、昨今のエネルギー事情を反映して、これまで活用されていないかった多様な温度の熱源を活用できる点で再び注目を集めている。BEST 機器特性SWG 熱源機器特性分科会では、これまで標準型吸収冷凍機¹⁾、直燃き高期間効率吸収冷温水機²⁾、排熱投入型吸収冷温水機²⁾等の機器特性を調査・報告してきた。

今年度は、コージェネレーション (CGS) やソーラークーリング等の省エネ分野で活用される機器の特性を新規に3機種調査し、プログラム仕様にまとめた。本稿ではこれらの機器特性および計算モデルの概要を報告する。

1. 温水焚一重効用吸収冷凍機の特性

温水焚吸収冷凍機は熱の有効利用の観点から重要な役割を担っており、CGS と太陽熱複合システム等への活用検討が進められている³⁾。今回は従来のモデルを見直し、外部条件や動作限界を詳しく反映したモデルに改訂した。

モデルの入出力を図-1 に示す。二重効用機¹⁾²⁾との主な違いは、熱源温水の条件を入出力に追加し、CGS その他の温水発生源との接続に備えたことである。

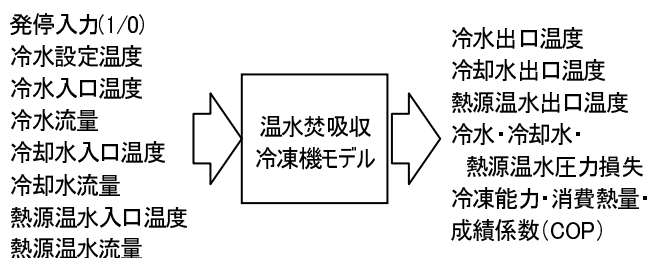


図-1 温水焚一重効用吸収冷凍機の入出力

図-2 は冷凍機の発停判断フローである。要求負荷率と圧力損失は冷凍機の発停に関わらず計算する。その後、発停入力、入力変数値の確認、要求負荷率から発停の判断を行う。冷凍機停止の場合、冷水・冷却水・熱源温水（以下、「循環水」）の出口温度は入口温度に等しい値を出力する。なお、以下に述べる蒸気焚吸収冷凍機、吸収ヒートポンプについても図-2 と同様の処理を行う。

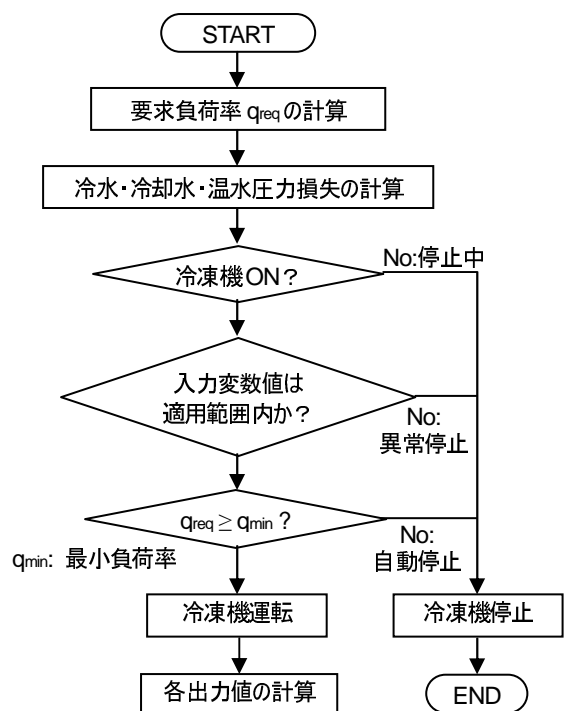


図-2 温水焚一重効用吸収冷凍機が発停判断フロー

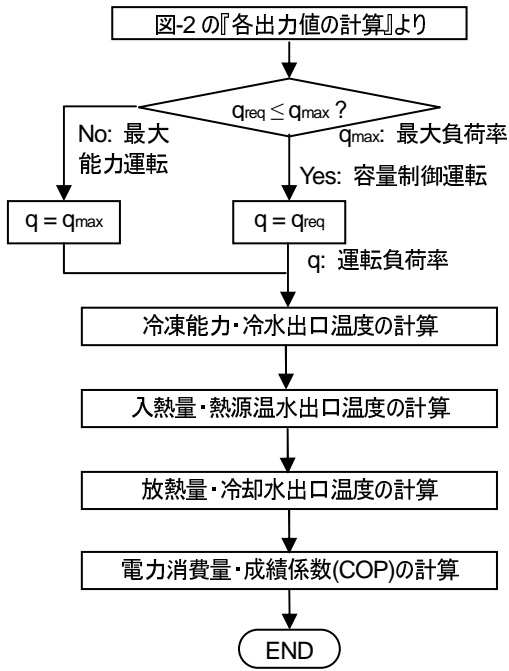


図-3 温水焚一重効用吸収冷凍機の機器特性計算フロー

冷凍機運転時の各出力値は図-3 のフローで計算する。図-2 で計算した要求負荷率 q_{req} と冷凍機の最大負荷率 q_{max} を比較し、 $q_{req} > q_{max}$ の場合は最大能力運転となる。この時、冷水出口温度は入力値の冷水設定温度よりも高い温度となる。反対に、 $q_{req} \leq q_{max}$ の場合は容量制御運転となり、冷水出口温度は設定値通りとなる。

図-4 は機器特性の一例である。冷却水温度が 31°C から 20°C に低下すると消費熱量が若干低減される。

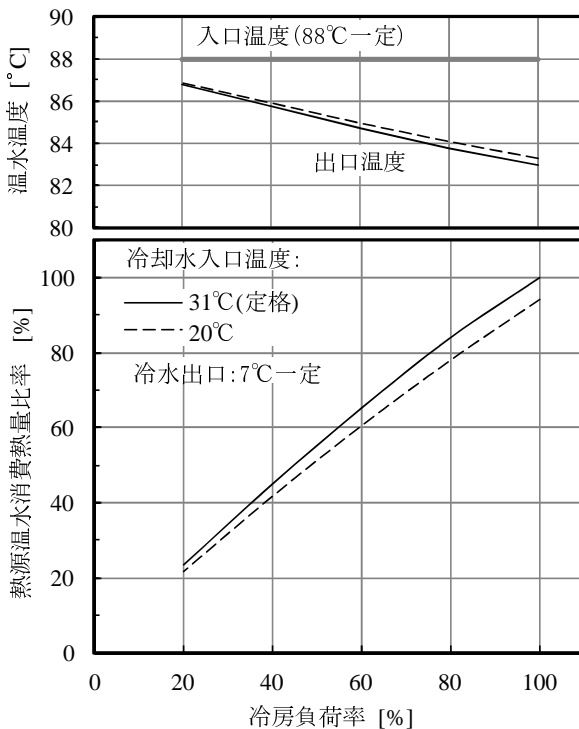


図-4 温水焚一重効用吸収冷凍機の部分負荷特性(例)

2. 蒸気焚高期間効率吸収冷凍機の特性

昨年報告した直焚高期間効率吸収冷温水機に引き続き、蒸気焚の高期間効率機の特性調査を行った。これにより、二重効用吸収式冷凍機については直焚、蒸気焚それぞれに対して標準機、高効率機、高期間効率機の3タイプ、計6種類の機器特性の調査を終えた。

蒸気焚吸収冷凍機の入出力を図-5に示す。この入出力項目は上記の3タイプで共通である。また、今回の機種追加に合わせて、CGS等の蒸気系統の計算で用いる還水温度を出力するものとした。なお、還水流量は蒸気消費量に等しいことから省略した。

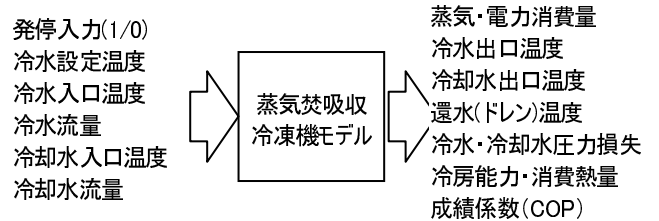


図-5 蒸気焚吸収冷凍機の入出力

図-6 は高期間効率機の部分負荷特性の一例を高効率機および標準機と比較した結果である。これらの3機種の特性的形は同一であり、係数の違いで各特性を反映した。電力消費量で高期間効率機の傾向が異なるのは、冷凍機内の吸収液ポンプをインバータ制御しているため

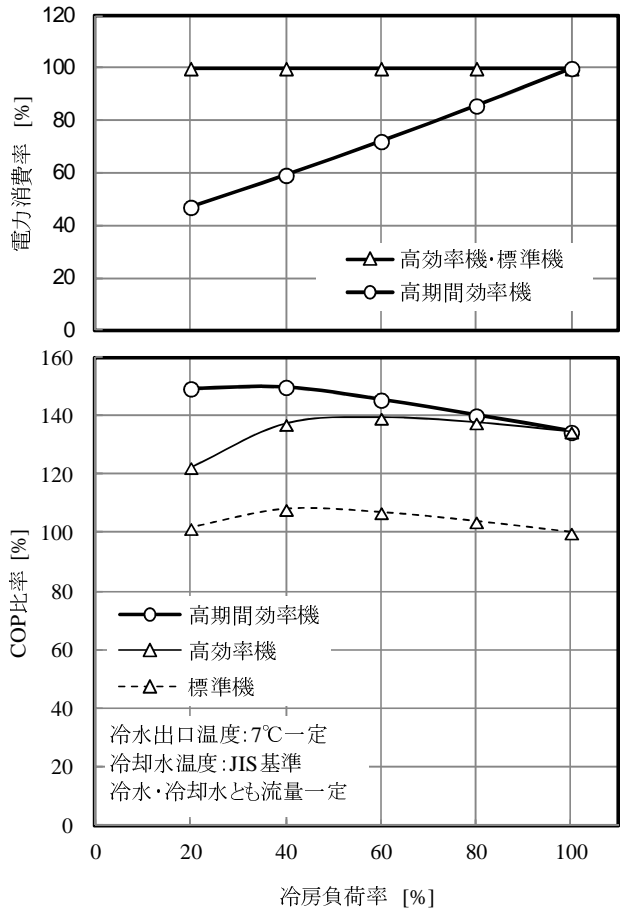


図-6 蒸気焚吸収冷凍機の部分負荷特性(例)

である。COP 比率の比較では、年間を通して頻度の高い冷房負荷率 50%以下の領域で他の機種との差が顕著になっており、省電力効果と合わせて年間消費エネルギーの低減が見込まれる。

3. 冷温水同時供給吸収ヒートポンプの特性

3.1 概要

冷温水同時供給ヒートポンプは、冷水から奪った熱を昇温し、冷房時の冷却水系統から暖房に利用可能な温水を得ることにより冷水と温水を同時に得る、熱回収型の熱源機である⁴⁾。駆動源は蒸気焚、直焚きともに実用化されており、今回はこれら両方の機器特性を調査した。

冷温水同時供給ヒートポンプの運転モードは

- (1) 冷温水同時供給（ヒートポンプ / HP）モード
- (2) 冷房専用モード

の2つであり、(2)の冷房モードでの動作は従来の二重効用吸収冷凍機・冷温水機と同様である。また、機器の成績係数(COP)は以下のように定義される。

- (1) HP モード：(冷房能力+暖房能力) / 入熱量
- (2) 冷房モード：冷房能力 / 入熱量

これらの運転モード間では定格能力、流量などが異なるため、機器仕様の中の定格値はモードごとに設定する。

3.2 入出力と計算フロー

蒸気焚吸収ヒートポンプの HP モードにおける入出力を図-7 に示す。冷房モードでの入出力は図-5 の蒸気焚吸収冷凍機と同一である。図-5 と同様、出力項目に還水温度を追加して蒸気系システムの計算に対応した。

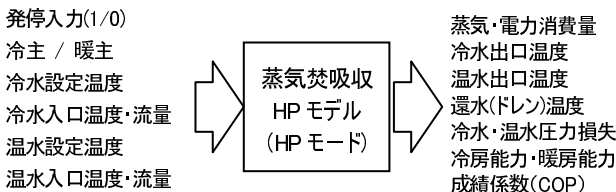


図-7 蒸気焚吸収ヒートポンプの HP モード時の入出力 (冷房時は図-5 と同じ)

次に、機器特性の計算フローを図-8 に示す。運転モードは計算実行中に変更できるように、逐次処理するものとした。したがって、各時間ステップの初めに前項で述べた運転モードごとの定格値を、運転モードに応じて計算の初めに割り当てる(①)。

さらに、②の入力値の整理で要求負荷率、③で各循環水の圧力損失を算出した後、機器の発停の判断を④で行う。手順②～④は図-2 に示した温水焚吸収冷凍機の発停判断と同様である。⑤では、要求負荷率と最大負荷率の比較を行い、図-3 と同様に最大能力運転/容量制御運転の切り替えを行う。

そして、⑥～⑧では運転モードに従って各種出力値を計算する。出力項目は図-7 (HP モード)、図-5 (冷房モード) の通りである。

3.3 蒸気焚吸収ヒートポンプの機器特性

図-9 は HP モードにおける機器特性の一例である。冷水出口温度は定格の 7°C に加えて 10°C とした場合の特性を示した。COP 比率の傾向は図-6 の吸収冷凍機と異なる

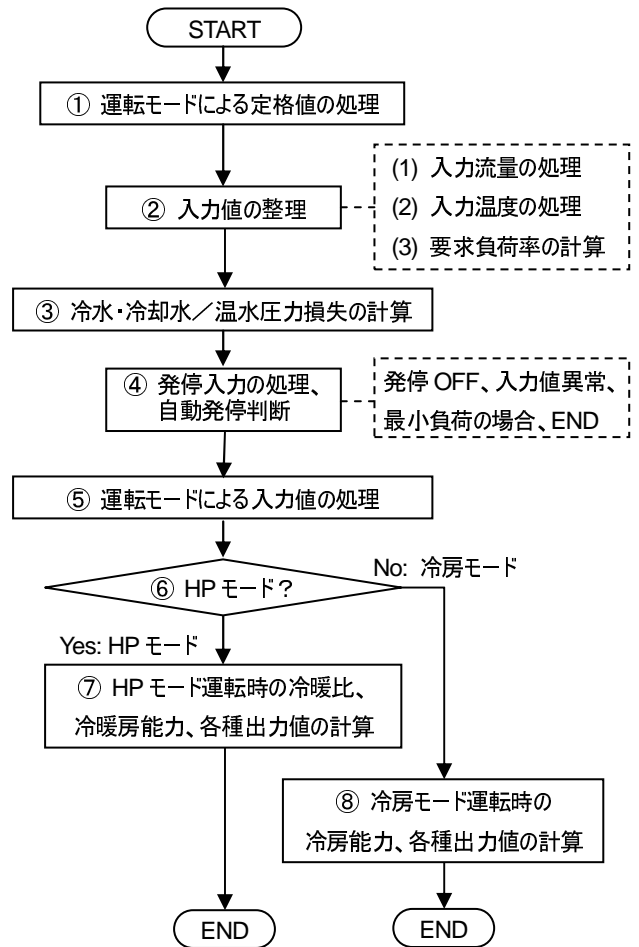


図-8 吸収ヒートポンプの機器特性計算フロー (直焚き、蒸気焚共通)

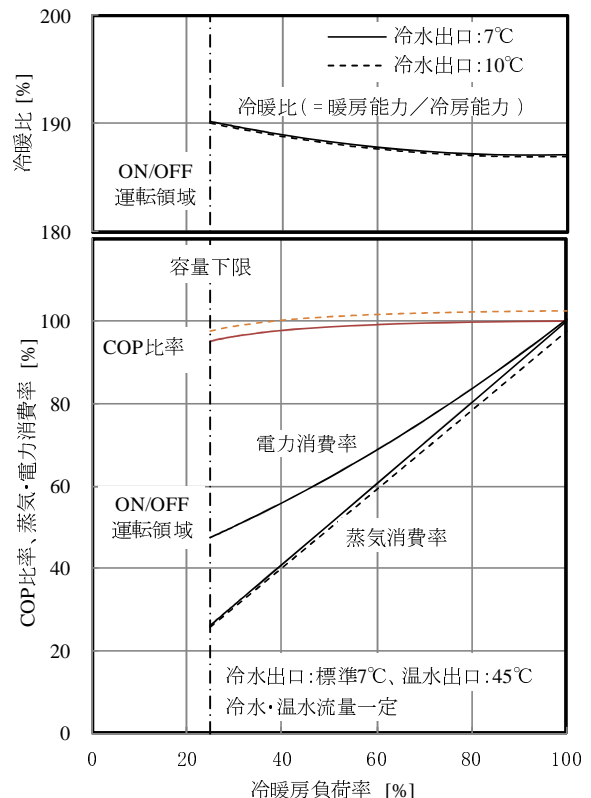


図-9 蒸気焚吸収ヒートポンプの部分負荷特性(例) (冷温水同時供給運転(HP モード)時)

り、部分負荷運転時もほとんど変わらず、やや低下傾向にある。これは、図-6の冷却水入口温度がJIS基準で設定されて負荷とともに低下しているのに対して、図-9では同じ系統を流れる温水温度が出口一定となっており、このため部分負荷運転時には、吸収冷凍機とは反対に入口温度が上昇するためである。

冷水出口温度による比較では、出口温度10℃の結果はCOP比率で約3%、7℃の場合に対して上昇し、その結果蒸気消費率が減少している。

電力消費率は図-6と同様、吸収液ポンプのインバータ制御により負荷とともに減少している。

HPモードでは、冷房能力に対する暖房能力の比を

$$(\text{冷暖比}) = (\text{暖房能力}) / (\text{冷房能力})$$

のように定義し、この値は

$$(\text{冷房能力}) + (\text{入熱量}) = (\text{暖房能力})$$

の関係で拘束され、上記の関係からその値は図-9中に示すように1.85~1.90程度となる。

次に冷房運転時の特性を図-10に示す。図中、実線は冷却水温度32℃一定、破線は冷却水温度をJIS基準で設定した結果である。図-9のHPモードと比較して、部分負荷運転時のCOP比率は若干上昇し、JIS条件の場合にはさらに上昇していることがわかる。

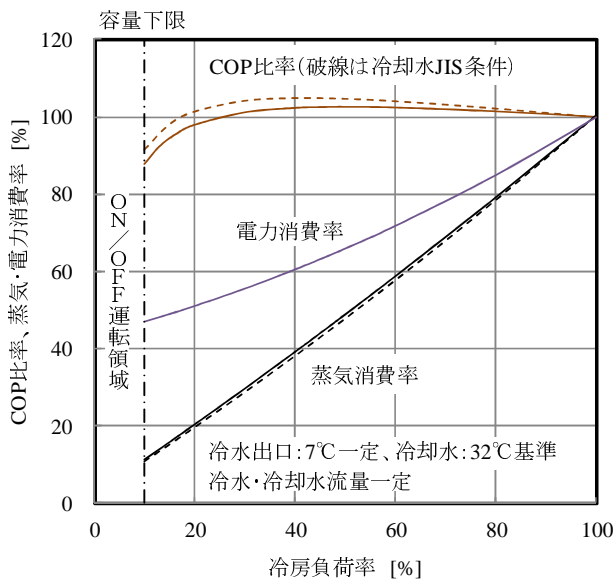


図-10 蒸気焚吸収ヒートポンプの部分負荷特性(例)
(冷房運転時)

3.4 直焚吸収ヒートポンプ

詳細は割愛するが、直焚の冷温水同時供給吸収ヒートポンプの機器特性も調査を行った。HPモードにおける

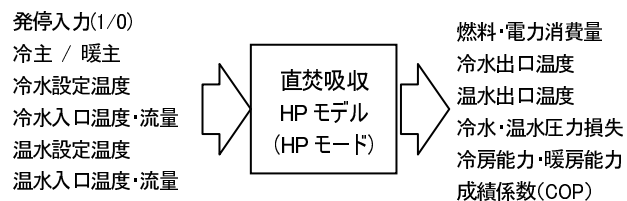


図-11 直焚吸収ヒートポンプのHPモード時の入出力
(冷房時は既報⁵⁾と同じ)

入出力は図-11の通りである。機器特性計算フロー、各モードにおける機器特性は蒸気焚と同一であるが、容量制御の下限値、バーナーファンの影響を受ける電力消費率の傾向に若干の違いが見られた。

4. 吸収式冷凍機・ヒートポンプのモデル整備状況

本稿で報告した調査結果を加えて、吸収式を中心とした熱駆動型熱源機器の整備状況は表-1のようになった。

表-1. 熱駆動式熱源機器のモデル整備状況

機種	中分類	小分類	特性調査	仕様書作成
吸収 冷温水機、 冷凍機	直焚き	二重効用	○	○
		三重効用	○	○
	蒸気焚	二重効用	◎	◎
	温水焚	一重効用	◎	◎
	排熱投入型	二重効用	○	○
三重効用		●	△	
冷温水同時供給 吸収ヒートポンプ	直焚	◎	◎	
	蒸気焚	◎	◎	
蒸気発生ボイラ	貫流ボイラ	○	改訂済	
真空温水ヒータ	1管式	○	改訂済	
蒸気-温水熱交換器			●	●

○:作成済、◎:新規作成(今回報告)、●:新規作成、△:作業中

おわりに

本稿では、吸収式冷凍機・ヒートポンプの新規モデルとして、CGS等から得られる蒸気、温水を有効活用して総合効率を向上するための機器を中心に報告した。現在、これらの熱源機器モデルと並行して表-1に示した蒸気ボイラモデルの改良、蒸気-温水熱交換器のモデル化等を進めている。今後はこれらのモデルを活用したケーススタディ、省エネルギーに対応した機種の拡充を進める予定である。

【謝辞】

本報は、(財)建築環境・省エネルギー機構内に設置された産学連携による環境負荷削減のための建築物の総合的なエネルギー消費量算出ツール開発に関する「BEST コンソーシアム」・「BEST 企画委員会(村上 周三委員長)」および専門版開発委員会(石野 久彌委員長)、行政支援ツール開発委員会(坂本 雄三委員長)、機器特性SWG(柳井 崇主査)、熱源機器特性分科会の活動成果の一部であり、関係各位に謝意を表するものである。熱源機器特性分科会名簿 主査:柳井 崇(日本設計)、幹事:藤居 達郎(日立製作所)、委員:石崎 修司(パナソニック)、井場 功(東芝キャリア)、小川 聡嗣(東邦ガス)、菊地 昭治(日立アプライアンス)、工月 良太(東京ガス)、品川 浩一(日本設計)、澤田 佳也(中部電力)、中村 康志(日立アプライアンス)、事務局:生稲 清久(財)建築環境・省エネルギー機構 また、各種機器特性のデータ収集、モデル化に当たっては、(社)日本冷凍空調工業会の協力を頂いた。合わせて謝意を表します。

参考文献

- 1) 藤居達郎ほか3名:空衛講論(2009-9)OS-17, pp.687-690
- 2) 藤居達郎ほか3名:空衛講論(2011-9)OS-24, pp.1723-1726
- 3) 田端康宏ほか10名:空衛講論(2011-9)OS-26, pp.1731-1734
- 4) 西山教之ほか3名:冷空講論(2010-9),A323
- 5) 助飛羅力、藤居達郎:空衛誌,82-11(2008-11),pp.953-958