

●(一社)日本冷凍空調設備工業連合会 会長 優秀賞 ● 運転・保守管理部門

マレーシアにおける IoTフロン漏えい管理システムによるGHG削減

設備施工者：(株)ナンバ

建物の概要

所在地 マレーシア Hang Tuah Jaya市内
A、B、C、D施設

1. 技術開発の目的と経過

目的：冷凍冷蔵・空調設備のフロン適正管理
による省コスト及びGHG削減

経過：平成30年（設計、検討等）


実施時期		実施内容
2018.09月初旬		設置先検討・現場調査
データ 収集期間： 2018.10.23～ 2019.2.14	2018.10月中旬	フロンキーパー取付
	2018.10.23～ 2018.11.12	改善対策実施前のデータを収集
	2018.11月下旬	第1回現地対象施設向け報告の実施 (現状報告・改善提案)
	2019.01月下旬	第2回現地対象施設向け報告の実施 (改善実施状況確認・追加改善提案)
	2019.03月上旬	第3回現地対象施設向け報告の実施 (最終報告書提出・フロンキーパー撤去)

2. 設備・システムの概要

冷凍冷蔵設備機器には冷媒としてフロン類が多く使用されている。温室効果の高い代替フロンの漏えい対策として、2015年4月にフロン排出抑制法が施行されたが、定期的な機器の点検を行う以外は具体的な漏えい対策が無い為に、担当者はその対応に頭を悩ませている状況にある。弊社ではフロン排出抑制法施行前より、フロン漏えいを減少させるべく、漏えいをさせない施工技術の研鑽を重ねてきた。そのような背景から、フロン漏えい検知システムのフロンキーパーを独自開発し、特許を取得。フロンキーパーは、冷凍冷蔵設備からフロン漏えいが進むと発生するフラッシュガスを超音波センサーで検知し、その発生率により、漏えいの状況を判断する。また、IoTにより様々な測定データをリアルタイムで一括集中管理ができ、早期漏えい検知と適切な修理対応等を行うことで、過度な電力使用を抑え、GHG排出削減に寄与することが可能。

項目	内容	
価格	約300千円/台（工事費、管理費等含）	
漏えい検知方式	超音波方式	
測定項目	フラッシュガス発生率、電力使用量、圧力、温度（外気温、液冷媒温度、吐出温度、吸入温度）	
通信方法	WiFi利用による	
耐久年数	10年程度（超音波センサー）	
対応冷媒	R22, R134a, R404A, R410A, R407C, R507F, R12, R502, R407F, R507A, R32, R744 ※R410A・R32は冷凍機のみ使用可能/R744は冷凍機仕様条件有り/炭化水素系冷媒は安全面を考慮し対象外とする/※R463A, R448, R449は今後検証予定	

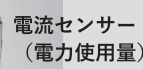
本体基盤



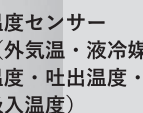
電源アダプター

超音波センサー（フラッシュガス）

電流センサー（電力使用量）



温度センサー（外気温・液冷媒温度・吐出温度・吸入温度）

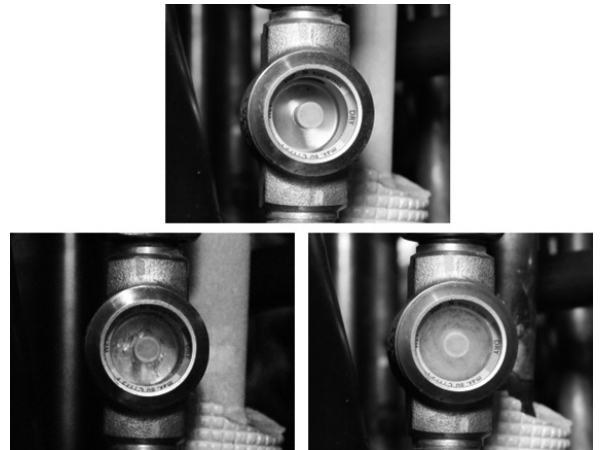


2018年7月より9ヵ月間、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の民間主導による低炭素技術普及促進事業（戦略的案件組成調査）に採択され、三菱UFJモルガン・スタンレー証券株式会社、イー・アンド・イー ソリューションズ株式会社の3社共同事業として、「超音波検知とIoTを活用した冷凍・冷房分野における冷媒漏えい抑制技術普及に関する省エネ及び大規模GHG排出削減可能性調査」（以下、「NEDO事業」）に取り組んだ。今まで途上国では手付かずだった冷媒漏えいの管理を含む機器運転の最適化によるGHG排出削減効果の調査を対象国であるマレーシアのA、B、C、Dの4施設にて行った。

3. 着想

通常、冷凍設備の冷媒漏えいは、冷凍設備の温度異常が起きて初めて発覚するが、この時点では、既に50～80%の冷媒が漏えいした後となっている。異常な温度上昇による在庫品や販売品の品質劣化は事業利益の損失に直結するだけでなく、大幅な緊急修理が必要になる。また、冷媒漏えいの進行で冷却能力が低下し、設定温度到達までの稼働時間が伸びてしまうため、電力使用量の増加を招く。

フロンキーパーは、冷凍設備の漏えいに伴い、液冷媒管に発生するフラッシュガスを検知する超音波センサーを設置する。（フラッシュガス発生時の様子は左図参照）また温度センサー等各種センサーを取付け、通信ネットワークを介してリアルタイムにサーバーへデータ送信を行う。ネットワーク上の管理画面で各種データを基に漏えいを判断、およそ10%程度の漏えいで検知する事が出来るため、冷凍設備が冷えなくなる前に対応が可能、設備を利用するユーザーの被冷却物資を保護すると共に、消費電力増加を防ぎ、修理費用も削減する。前型液面検知タイプはフロートセンサーを使用し、レシーバータンク内部のフロン総量を計測する方式であったが、それと比較して検知精度は格段に飛躍した。



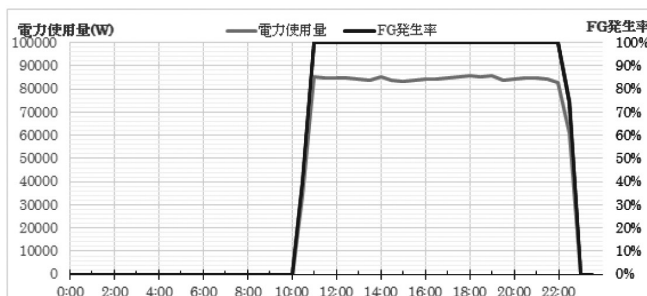
写真：冷媒漏えい時のサイトグラス
 (上：漏えい無し、左下：小規模漏えい、右下：大規模漏えい)
 ※左下は漏えいが始まったばかりだが、熟練の技術者でも目視確認では断定が難しい

4. 効果（省エネルギー）

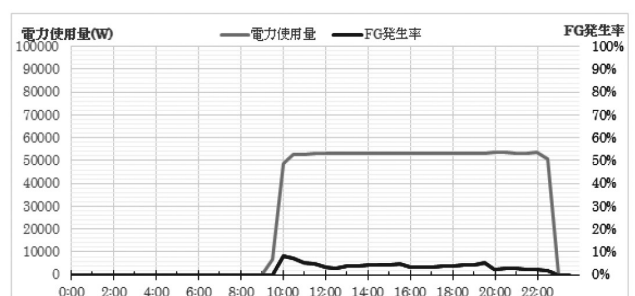
【A施設 空調用チラー】

営業開始とほぼ同時にフラッシュガス発生率が100%となり、営業終了の22時まで続いている。チラーの運転開始と同時にフラッシュガスが発生し始めることから、冷媒不足が明らかであった。そこで、こちらのチラーに関し、対策として①50kgの冷媒充填を行う。②チラーに内蔵した3機のコンプレッサーのうち1機を停止する。（水温調整機能が故障しているため）を行った結果、フラッシュガスの発生を抑え、日平均電力使用量は、2134.3kWh^(注記*1)から1319.6kWh^(注記*2)と約38.1%減少するなど、大幅な電力使用量のカットに成功した。また、

対策前



対策後

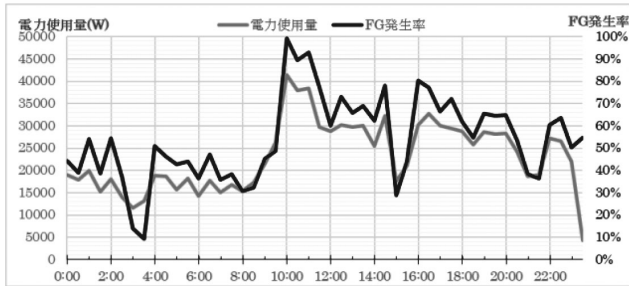


供給冷水温度が15.5℃から12.1℃へ下がり、冷媒吐出温度は80.3℃から58.0℃に、冷媒吸入温度は25.8℃から14.4℃に低下し、チラーの冷却能力の大幅な向上が確認された。

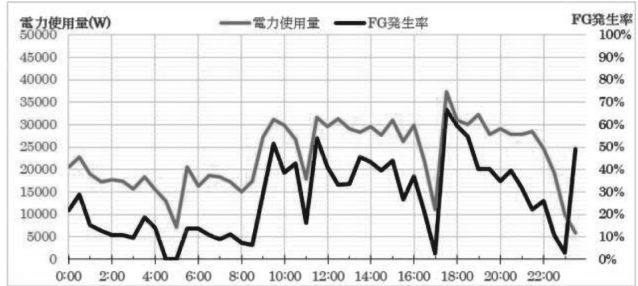
【B施設 冷凍機】

冷凍機は、店舗の営業状況に関わらず、常に稼働している。フラッシュガスの発生が頻発しており、電力使用量の増加に連動し、発生頻度も多くなる傾向があることが確認された。こうしたことから、冷媒充填量の不足が明らかであると判断した。メンテナンス事業者とともに漏えいチェックを実施し、実際に漏えい箇所を発見し、その場で修繕作業を行い、メンテナンス事業者により冷媒充填を実施した。作業前に比べ、フラッシュガス発生率が60.6%から27.0%と大きく減少するなど、その効果は顕著に現れているものの、充填量は十分なものではなく、フラッシュガスの発生が無くなるまでには至らなかった。これは現地メンテナンス会社の、適正量を判断する技術力不足といえる。日平均電力使用量は、1151.4kWhから1072.7kWhと約7%減少するなど、大きな省エネ効果が得られた。

対策前



対策後



A施設（消費電力は冷凍機ごとに電流センサーで計測）

（注記*1） 対策前28日間の合計消費電力59,759,879Wを日数で割った数字・・・2134.3kWh

（注記*2） 対策後13日間の合計消費電力17,155,325Wを日数で割った数字・・・1319.6kWh

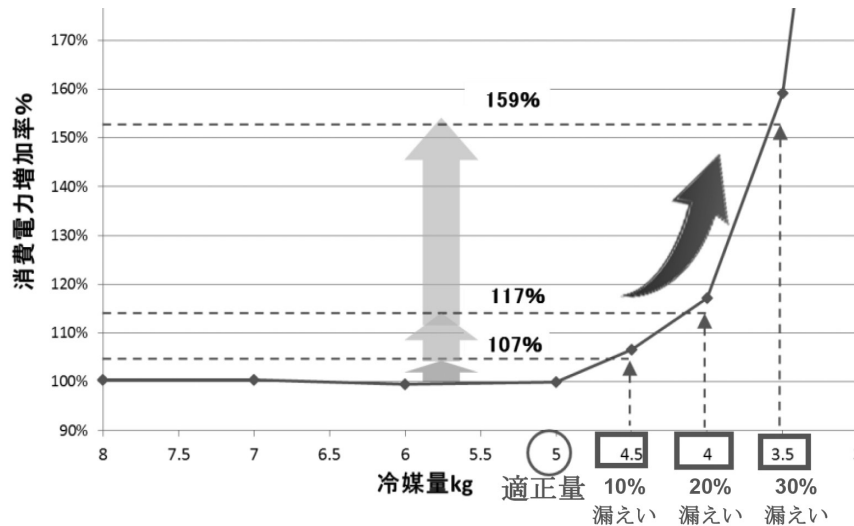
A施設：1日あたり削減消費電力は、約38.1%の削減効果（2134.3－1319.6＝814.7kWh）

B施設：1日あたり削減消費電力は、約6.8%の削減効果（1151.4－1072.7＝78.7kWh）

5. 投資回収（省マネー）

フロンの漏えいによる影響が大きいものに、冷凍空調機器の使用電力量の増大が挙げられる。NEDO事業においては、日本冷凍空調工業会・日本空調冷凍研究所が市販の一体型スクロール冷凍機（冷凍能力6.3kW、冷媒としてR-404Aを使用）と模擬負荷装置を用いて「フロン充填量の変化に応じた冷凍機の電力消費量の実測試験」を実施した。その結果、横軸にあるフロンの適正量から10%、20%、30%の漏えいが発生した場合、縦軸の消費電力増加率がそれぞれ107%、117%、159%と増加することが分かった。（下図参照）

冷却能力が低下するまで漏えいを放置した場合、在庫品や販売品の品質劣化や、大幅な修理費が発生するのみならず、設定温度到達までの稼働時間が延びて電力使用量の増加を招くことが実証された。冷凍設備のフロン漏えいは、冷凍設備の温度異常が起きて初めて発覚するが、この時点では、既に5～8割のフロンが漏えいした後となっている。一般的に漏えいは、ゆっくりと進行し、漏えいしていることに気づくまで、過剰な電力（最大59%）を消費し続ける事になる。こうした事実は、専門業者の間でも、ほとんど認識されていない。フロンキーパーでは10%程度の漏えい時点での検知が可能となるので、早期発見により無駄な電力消費を抑えることができる。



※冷凍機の機種、冷凍能力、冷媒等により結果は異なることが想定されている。
 ※電力増加率は、100%が本来消費されるべき電力消費量と見なし、同基準からの増加を示している。
 出典：日本冷凍空調工業会・日本空調冷凍研究所（2018）を基に㈱ナンバが作成

NEDO事業により、フロンキーパーを取り付けた4施設の削減効果と、前述の「冷媒充填量の変化に応じた冷凍機の電力消費量の実測試験」から、既に現状として使用電力量が59%増加している状態であったと仮定し、それが適正值に戻った場合に期待できるGHG削減ポテンシャルをまとめた。

<試算方法>

(1) 実測値を基にした試算結果：

- ・省エネ効果 (kWh/年) = (①-②) ×稼働日数 (日/年)
- ・省エネによる排出削減効果 (tCO₂/年) = 省エネ効果 (kWh/年) × 系統電源の排出原単位*
- ・冷媒漏えい回避による削減効果 (t-CO₂e/年**) = 実測期間中の冷媒充填量 (ton) × GWP係数***

(2) 試験値を用いたGHG排出削減ポテンシャル：

- ・試験結果により、冷媒漏えいによる電力増加率の上限を159%とした場合、稼働率100%の機器において、正常運転時は59%削減できることから理想稼働率を62.8%として算出。
- ・正常時消費電力量 (kWh/日) = 1日当たり最大消費電力**** × 理想稼働率/日
- ・省エネ効果 (kWh/年) = (① - 正常時消費電力量) × 稼働日数 (日/年)
- ・省エネによる排出削減効果 (tCO₂/年) = 省エネ効果 (kWh/年) × 系統電源の排出原単位*
- ・冷媒漏えい回避による削減効果 (t-CO₂e/年**) = 実測期間中の冷媒充填量 (ton) × GWP係数***

* 0.694tCO₂/MWh

** 実測期間中の再充填は1回のみだったが、再充填頻度が不明のため、年1回とした。

*** GWP (Global Warming Potential) : 温暖化係数

**** 1日当たりの最大電力消費量 = 平均電力消費量 (kWh/日) / 平均稼働率

対象施設		施設A (商業施設)	施設B (商業施設)	施設C (工場)	施設D (工場)
1 実測値を 基にした試算結果	省エネ効果 (kWh/年)	297,000 (38.1%↓)	29,000 (6.8%↓)	770 (19.6%↓)	
	コスト低減効果 (円/年)	2,833千円	264千円	8千円	
	排出削減効果				
	省エネ効果 (t-CO ₂ /年)	210	20	0.5	
	冷媒漏えい回避効果 (t-CO ₂ e/年)	90	180	18	
	合計	300	200	18.5	
2 試験値を用いた ポテンシャル	省エネ効果 (kWh/年)	289,000 (37.1%↓)	136,000 (37.2%↓)	1,500 (37.2%↓)	19,000 (37.1%↓)
	コスト低減効果 (円/年)	2,753千円	1,297千円	16千円	249千円
	排出削減効果				
	省エネ効果 (t-CO ₂ /年)	200	90	1	13
	冷媒漏えい回避効果 (t-CO ₂ e/年)	160	460	27	30
	合計	360	550	28	43

【施設A】

設備価格：300千円

コスト低減効果：236千円/月^(注記*3)

投資効果：236千円×2 = 472千円 2ヶ月以内でコスト回収

(注記*3) 施設電力契約は「タリフC1」として現地電気料金単価を36.50sen/kWhとして算出。

814.7kWh (1日あたり削減消費電力)×30(日)×0.365 (RM/kWh)×12(月)=107,051.6 (RM/kWh)

107,051.6 (RM/kWh)×26.48 (算出当時為替レート)=2,833,360→2,833千円/年

2,833千円/年÷12月=236千円/月

【施設B】

設備価格：300千円

コスト低減効果：22千円/月^(注記*4)

投資効果：22千円×14ヶ月=308千円 約1年でコスト回収

(注記*4) 1151.4kWh (対策前日平均消費電力)－1072.7kWh (対策後日平均消費電力)=78.7kWh

78.7kWh (1日あたり削減消費電力)×30(日)×0.365 (RM/kWh)×12(月)=10,341.18 (RM/kWh)

10,000 (RM/kWh)×26.48=264,800→264千円/年…NEDO事業報告値を引用

264千円/年÷12月=22千円/月

【施設C】

設備価格：300千円

コスト低減効果：666円/月

※対象冷凍機が小型、稼働時間が短かすぎたため、コスト回収は困難

【施設D】

※不足していた冷媒充填を実施したが、既存冷凍機の能力不足のため連続運転を行い、省エネ効果は得られなかった。

6. 他の建物への応用性・便利性

既存の設備に後付けで設置することが可能。配管工事等は必要なく、センサー類の固定のみで設置が可能、施工自体は比較的容易に行うことができるため取り扱い易さは非常に高い。また、前述の「2. 設備・システムの概要」の対応冷媒で記述している通り、HCFC・HFC他に対応しているため応用性も高い。しかし、対象冷凍機が小型過ぎる場合はフロン漏えいの早期発見には問題ないが、コスト削減の観点では回収が困難な場合がある。

7. 仕様又は開発製品等

「2. 設備・システムの概要」を参照。

8. 環境保全、便利性等

「5. 投資回収（省マネー）」内の表に記述済み。

9. 工夫した点、発想した点等

フロンが不足することにより消費電力はおよそ最大1.6倍にもなる事が実施試験として今回初めて実証された。使用者は漏えいが発生しても、その時点での把握は難しく、50%以上のフロンが漏えいし、冷凍能力に異常が発生してから初めて漏えいを知る。つまり、漏えいが発生してから半分以上のフロンが漏れてしまうまで、漏えいした状態は潜伏したまま機器を使用し続けてしまうことが殆どといえる。漏えいは少量ずつ長い期間を経て進むスローリークが大半なので、冷凍能力に異常が出るまでの間漏えいしたまま、最大1.6倍もの高い電気料金を支払い続けることになる。

フロンキーパーではおよそ10%の漏えいで検知する事が可能なので、冷凍能力に異常が出る前の把握が可能。適正な冷媒管理を行い続ける事によって大幅なコスト削減とGHG排出の削減を可能にする。

10. 市場性等

<国内外の販売実績>

フロンキーパー（超音波検知方式）は、2018年に販売開始した商品であり、現在は積極的に営業活動を展開中である。また、活動の一環として、顧客サイトへの設置による実証試験を行い、実測後に顧客との商談を実施中である。国外販売実績はまだ無いが、NEDO事業等を通じ、マ国を皮切りにアセアン地域での販売を目指す。

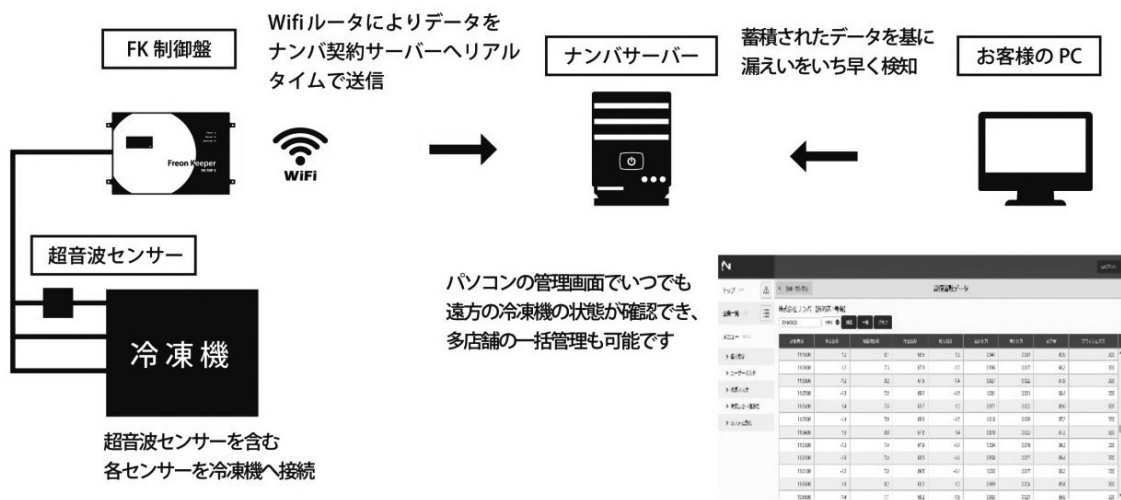
<競合システムとの比較>

冷凍機のフラッシュガス超音波検知機能においては、競合相手や代替品は存在しない。フロン漏えい検知機能を有する製品は、フロン漏えい対策のニーズの高まりから、各社が製品開発を進めている。例を挙げると、A社冷凍機には冷媒の圧力と温度の検知で冷媒不足を知らせる機能がある。また、B社製の冷凍設備の一元管理システムがあるが、いずれも自社製品に対応するのみで、既存機への取付対応は不可、フラッシュガスの検知機能も無く、実際に冷凍能力に異常が出てからの検知となっている。フロンキーパーはメーカーを問わず既存設備に設置できる上、微量な漏えい段階での検知精度において他社を圧倒的に引き離しているといえる。他社比較を下表にまとめる。

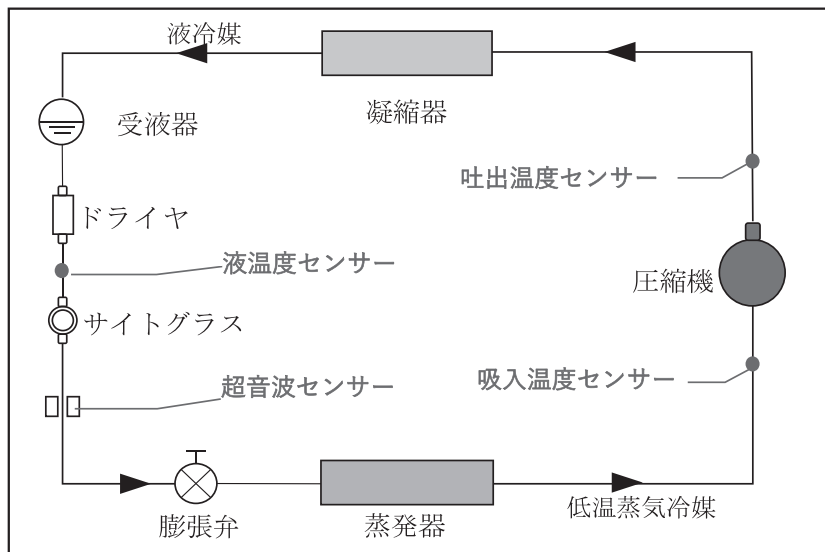
	フロンキーパー	A社製冷凍機	冷凍機の一元管理システム (B社製 他)
漏えい 検知方法	超音波センサーによりフラッシュガス発生を検知し、その他、冷媒圧力、冷媒液・吐出・吸入温度、外気温、電力消費量の数値を測定し、漏えいを判断する	冷凍機の冷媒圧力・温度を計測	温度・電力計測データ等の各種冷凍システムの数値を基に漏えいを総合的に判断する予定だが、現段階では実用化に至っていない
漏えい 検知性能	冷凍能力に異常が発生する前の初期段階での検知が可能	冷凍能力に異常が発生してからの検知	
取付対象	既存・新規・メーカー問わず既存設備に設置が可能	新規	全て同メーカーの冷凍システムのみが対象

11. 外観・構造図

【システム概要図】



【各種センサー取付位置】



※この成果は国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務の結果得られたものです