

インジェクション機構付インバータツインロータリ圧縮機“DSI-Rotary MNK42F”

長澤宏樹*
濱田 亮*
石部祐策**

Dual-channel Super-charge Injection Rotary Compressor "DSI-Rotary MNK42F"

Hiroki Nagasawa, Ryo Hamada, Yusaku Ishibe

要 旨

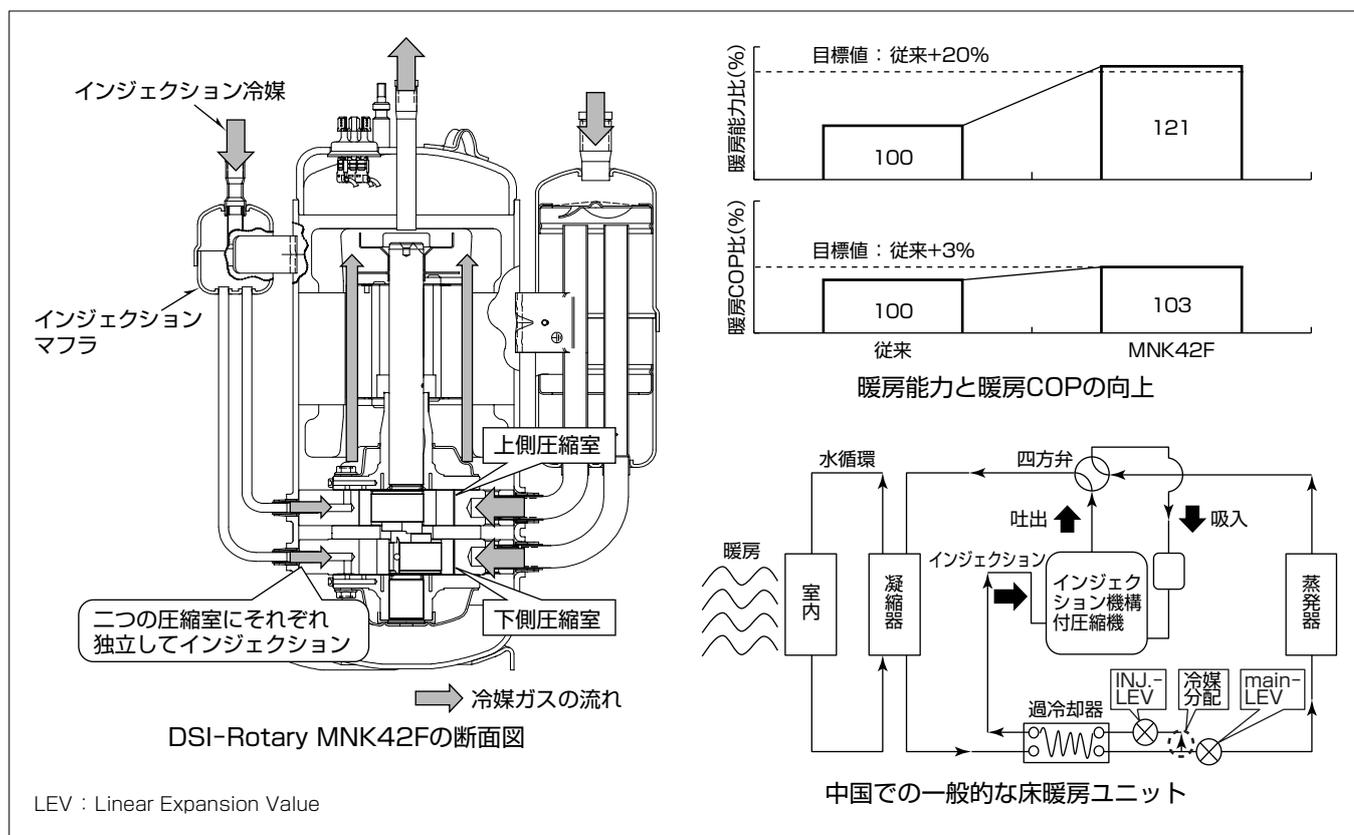
近年、中国政府によるPM2.5対策や省エネルギーを目的とした石炭改電政策による補助金支給を皮切りに、中国での寒冷地向けヒートポンプの需要が拡大している。そこで今回、中国寒冷地向けヒートポンプで最も需要の大きい6HP(Horse Power：馬力)をターゲットとした、三菱電機初のインジェクション機構付インバータツインロータリ圧縮機となる“Dual-channel Super-charge Injection Rotary Compressor MNK42F”(以下“DSI-Rotary MNK42F”という。)を開発した。

この開発は、次の二つの主たる課題解決によって実現した。

(1) 寒冷地向けにするため、三菱電機の従来ロータリ圧縮機に対して暖房能力+20%、暖房COP(Coefficient

Of Performance)+3%の効果を持つ独自のインジェクション機構を開発した。それは“過給効果”を活用するためにインジェクション経路にマフラを追加したもので、その経路の長さや径を、モデルと実験を用いて適正に決定した。

(2) インジェクション機構付圧縮機搭載経験のない中小ユニットメーカーでの導入を進めるため、インジェクション圧力の条件適正化支援手法を確立した。その手法によって必要な実験水準を半減し、中小ユニットメーカーにとってのインジェクション導入ハードルを下げ、三菱電機圧縮機の活用促進につながっている。



“DSI-Rotary MNK42F”のインジェクション機構とインジェクション圧力の条件適正化支援手法

“DSI-Rotary MNK42F”の実現のために、過給効果を活用してインジェクション経路にマフラを追加した独自のインジェクション機構を開発した。また、インジェクション機構付圧縮機搭載経験のない中国の中小ユニットメーカーが導入しやすくなるようインジェクション圧力の条件適正化支援手法を確立した。

1. ま え が き

近年、中国政府によるPM2.5対策や省エネルギーを目的とした石炭改電政策による補助金支給を皮切りに、中国での寒冷地向けヒートポンプの需要が拡大している。さらに、その寒冷地向けヒートポンプで主流となる床暖房での省エネルギー規制の実施も推測され、従来の一定速機から省エネルギー性の高いインバータ機へ置き換わっていくことが見込まれる。そこで今回、中国寒冷地向けヒートポンプで最も需要の大きい6HPをターゲットとした、三菱電機初のインジェクション機構付インバータツインロータリ圧縮機“MNK42F”を開発した。この開発は、次の二つの主たる課題解決によって実現した。

- (1) 寒冷地向けにするため、三菱電機の従来ロータリ圧縮機に対して暖房能力+20%、暖房COP+3%の効果を持つインジェクション機構の開発
 - (2) インジェクション機構付圧縮機搭載経験のない中小ユニットメーカーが導入しやすくなるようインジェクション圧力の条件適正化支援手法の確立
- 本稿では、これらの課題解決について述べる。

2. インジェクション機構付圧縮機

2.1 ロータリ圧縮機とインジェクション

図1に一般的なロータリ圧縮機の断面図を示す。圧縮機内は、電動機部と圧縮機構部で構成され、電動機部で発生

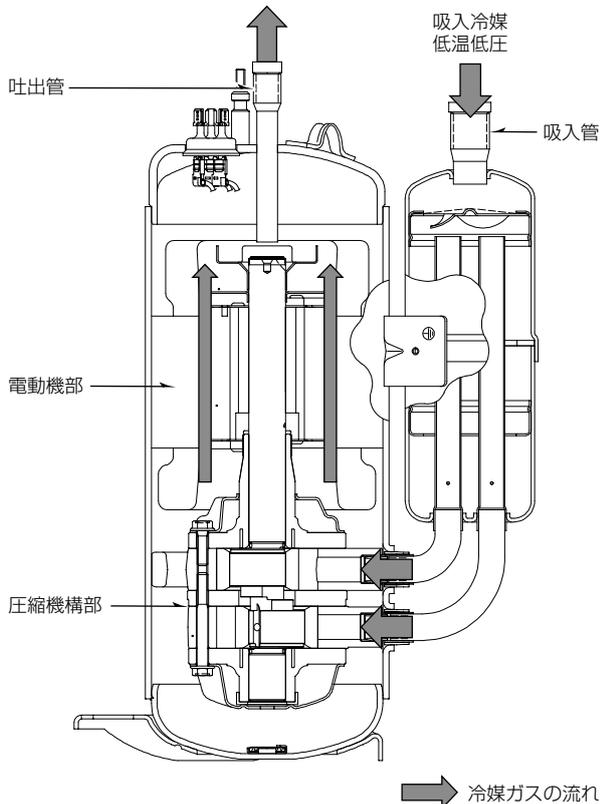


図1. ロータリ圧縮機の断面図

する回転力を圧縮機構部に伝達することで冷媒ガスを圧縮する。圧縮機構部での冷媒ガスの圧縮工程を図2に示す。シリンダとローリングピストンによって形成された空間をベーンで仕切り、ローリングピストンの回転によって圧縮室容積が縮小することで圧縮を行う。この工程を通じて、低温低圧の冷媒ガスを吸入し、高温高圧の冷媒ガスとなって吐出する。

冷媒ガス流量を増加させて暖房能力を確保する手段として、この圧縮工程の途中に、凝縮器出口からの冷媒を注入させるシステムをインジェクションと呼ぶ。インジェクションは一般的にスクロール圧縮機が適しているとされている。その理由は、スクロール形がロータリ形に比べて、一圧縮工程あたりの回転数が約3倍であることによって、インジェクション注入時間を長くすることができ、インジェクション冷媒ガス流量を増加させやすいことが主に挙げられる(図3)。

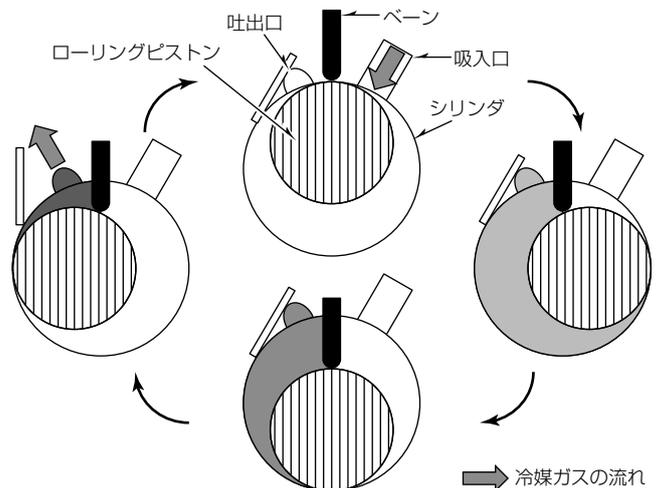


図2. ロータリ圧縮機の圧縮工程

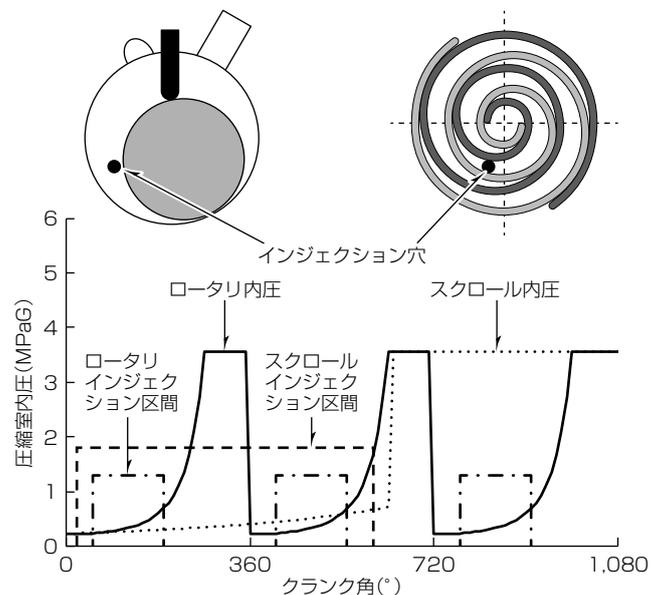


図3. 圧縮機構へのインジェクション方法

また、インジェクション時の冷凍サイクルは図4のように表され、インジェクション冷媒ガス流量が増加すればするほど、凝縮器を流れる冷媒流量が増加して暖房能力が増加するとともに、圧縮工程に必要な比入力が減少し、暖房COPが増加する。

2.2 “DSI-Rotary MNK42F”の特徴

今回開発した“DSI-Rotary MNK42F”は、スクロール形に比べてインジェクション冷媒ガス流量を増加させにくいロータリ形の弱点を補うための独自技術を搭載している。その技術は、管出入口の圧力変動位相差を利用した“過給効果”を用いたもので、圧縮機本体に接続されるインジェクション配管にマフラ(静圧空間)を付加し、そのマフラから、二つの圧縮室それぞれに対して独立したインジェクション冷媒注入経路を、過給効果が得られるような管径と長さにしたうえで、配置したものである(図5)。

ここで、“過給効果”とは、管出入口の圧力変動位相差によって管を流れる流量が変化する現象のことをいい、管の長さや径に依存して極値を持つ。今回のMNK42Fで必要な流量で過給効果が最大となる長さや径を、過給現象をモデル化した計算と実験を用いて決定した(図6)。

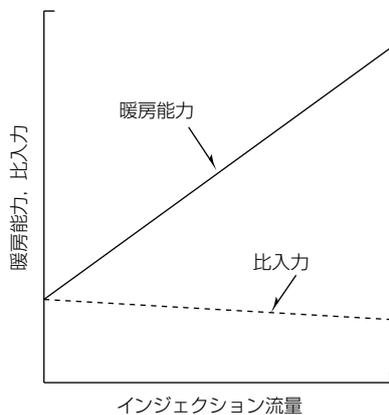
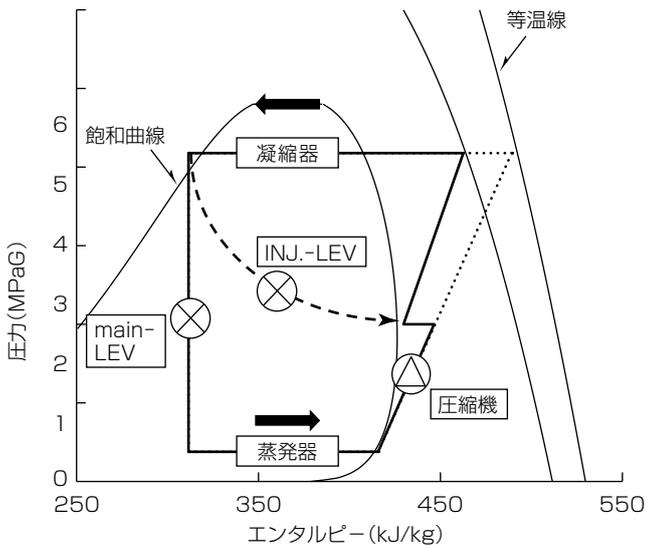


図4. インジェクション時の冷凍サイクル

この技術によって、図7に示すように三菱電機の従来ロータリ圧縮機に対して暖房能力+20%、暖房COP+3%となる目標を達成でき、寒冷地向けヒートポンプに有用なロータリ圧縮機を実現できた。

さらに、今回の技術は、インジェクション経路中にマフラを備えることによって、二つの圧縮室から冷媒が相互に逆流する現象(呼吸現象)を防ぐことができ、マフラ内部に設置したメッシュによって異物を補足することが可能となって信頼性も向上させることができた(図8)。

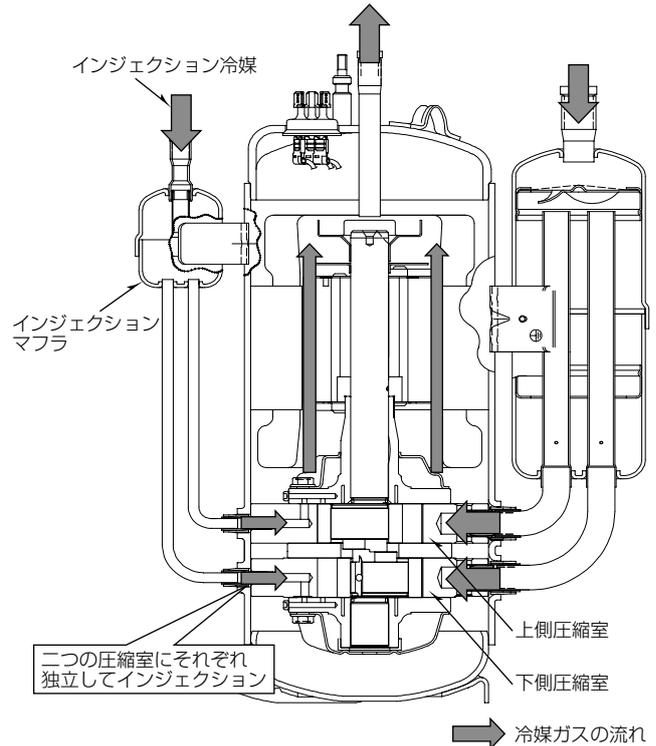


図5. DSI-Rotary MNK42Fの断面図

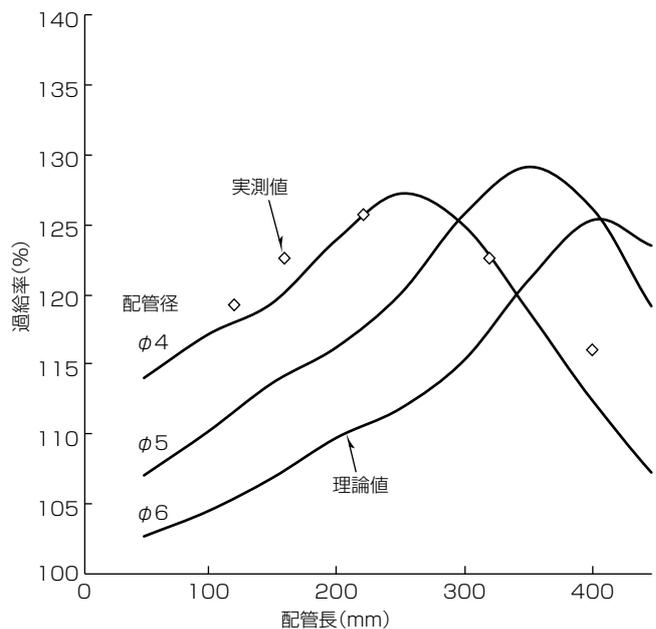


図6. 過給効果

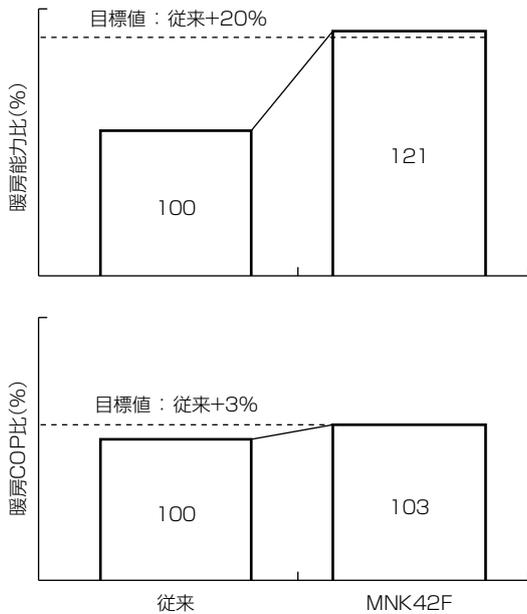


図7. 暖房能力と暖房COPの向上

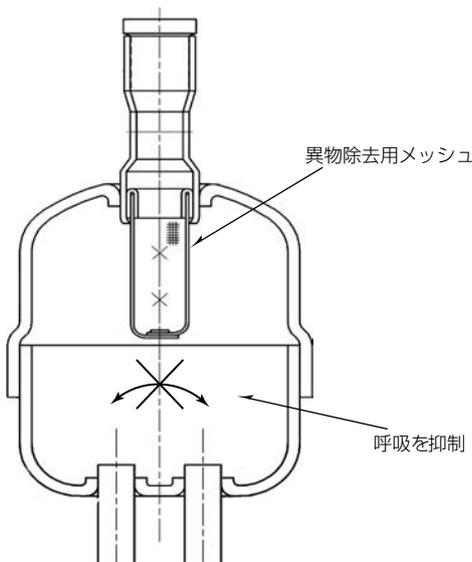


図8. インジェクションマフラの断面図

3. インジェクション圧力の条件適正化

3.1 条件適正化支援手法の目的

中国の石炭改電市場で使用される一般的な床暖房のユニットはインジェクション冷媒の温度の調整のために過冷却器を搭載している(図9)。

ユニットでの暖房能力と暖房COPを最大化するためには、インジェクション冷媒が気飽和付近となるように圧力と温度を調整する必要があるが(図10)、過冷却器の能力やインジェクション経路の損失によって狙うべきインジェクション圧力が異なるので、一般的にはそれを知るために網羅的に実験している。

通常の空調ユニットで膨張弁として用いられている main-LEV (Linear Expansion Valve) 一つについて、

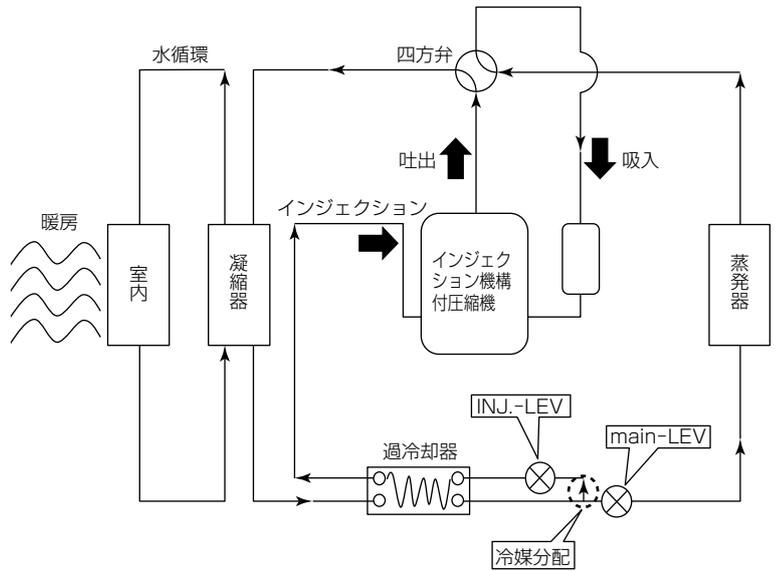


図9. 中国での一般的な床暖房ユニット

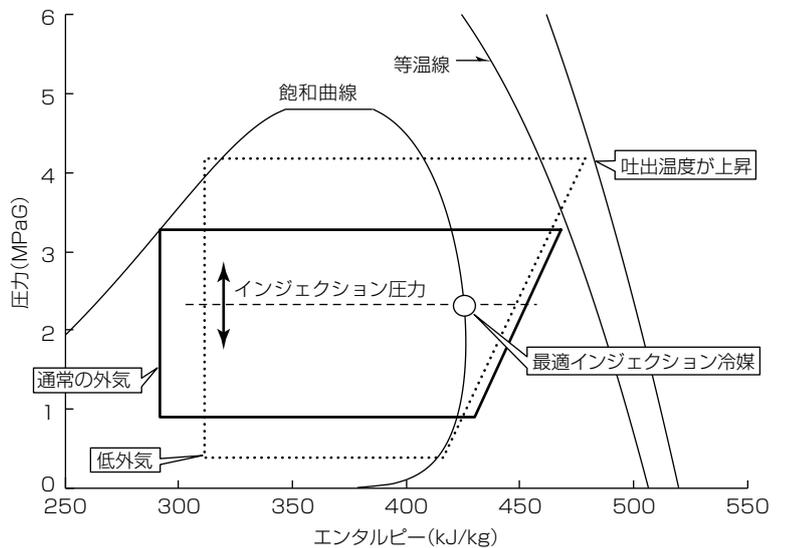


図10. 最適なインジェクション冷凍サイクル

6水準の実験を行うのが中国では一般的である。インジェクションユニットにはそれに加え、インジェクション流量調整用のINJ.-LEVが搭載されているため、二つのLEVのチューニング、すなわち36水準の実験が必要になり、通常の空調ユニットに比べておよそ6倍の時間が必要となる。そのため、インジェクション機構付圧縮機搭載経験がなく、マンパワーも限られた中小ユニットメーカーにとって、インジェクションは導入のハードルが高いものとなっていた。そこで、冷凍サイクルの理想モデルと圧縮機単体の特性実験を合わせることで、適正となるインジェクション圧力の範囲を絞り、適正化するための実験を3水準に半減する手法を開発した。この手法を用いた三菱電機の技術支援によって中小ユニットメーカーのインジェクション機導入のハードルを下げ、広く三菱電機の圧縮機を採用してもらえるようになり活用範囲が広がっている。

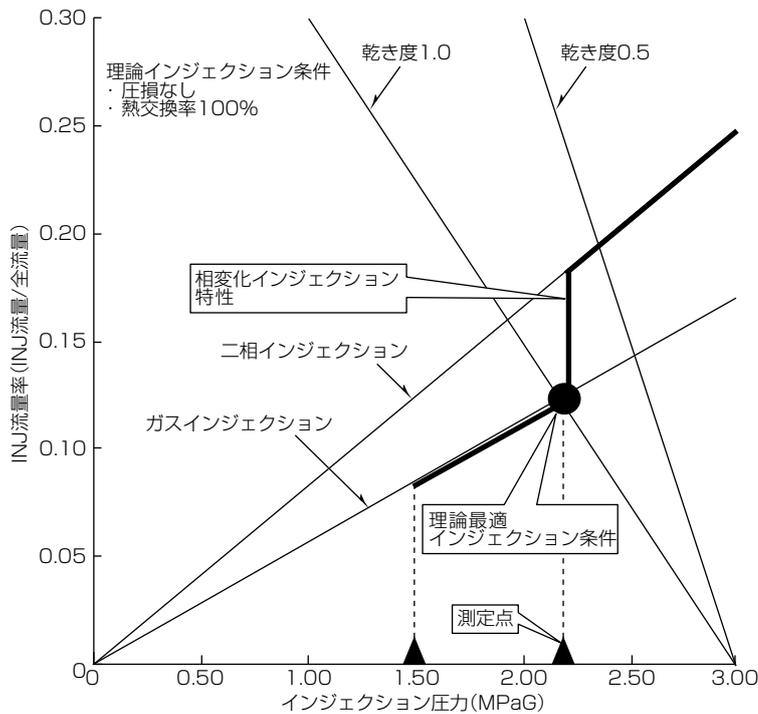


図11. (1)~(4)のインジェクション圧力と流量の関係(理想値)

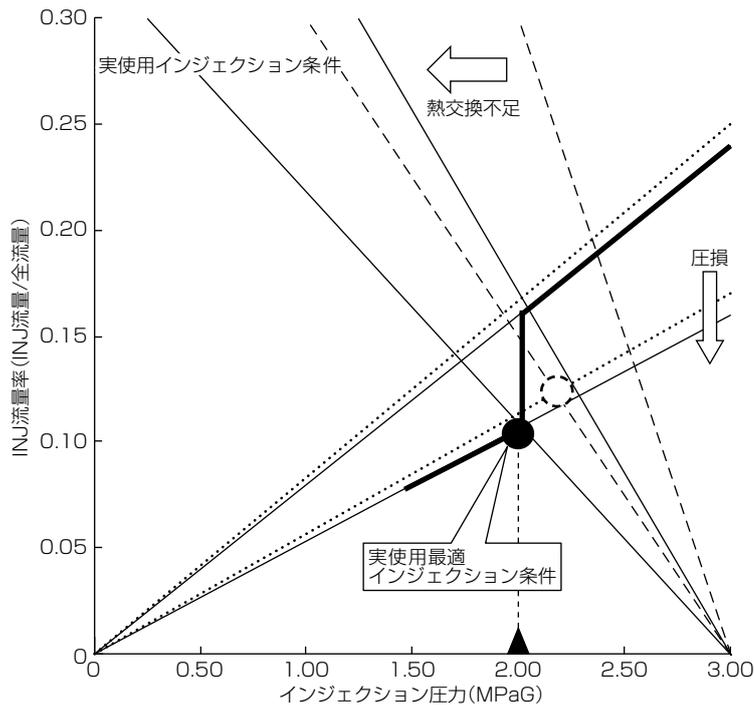


図12. (5)(6)の関係性の実験による修正と適正值の決定

3.2 条件適正化支援手法

インジェクション条件適正化の手法は次のとおりである(図11, 図12)。

- (1) 冷凍サイクルでの過冷却器特性を理想モデル化
- (2) 圧縮機単体のインジェクション圧力と流量の特性を把握
- (3) インジェクション圧力と流量の関係を(1), (2)を基に作成
- (4) 作成した関係から、実験すべき2水準のインジェクション圧力を決定
- (5) 実験によってインジェクション圧力と流量の関係を修正
- (6) 修正後の関係から適正なインジェクション条件を決定し、その条件での確認を実施

この手法を実際に顧客ユニットに適用し、想定どおりの結果が得られることを確認した。

4. む す び

中国での寒冷地向けヒートポンプの需要の拡大に伴って、三菱電機初のインジェクション機構付インバータツインロータリ圧縮機となる“DSI-Rotary MNK42F”を開発し、外販事業を拡大した。この開発は、次の二つの主たる課題解決によって実現した。

- (1) 寒冷地向けにするため、三菱電機従来ロータリ圧縮機に対して暖房能力+20%、暖房COP+3%の効果を持つ独自のインジェクション機構を開発した。それは“過給効果”を活用するためにインジェクション経路にマフラを追加したもので、その経路の長さや径を、モデルと実験を用いて適正に決定した。
- (2) インジェクション機搭載経験のない中小ユニットメーカーが導入しやすくなるようインジェクション圧力の条件適正化支援手法を確立した。その手法によって必要な実験水準を半減し、中小ユニットメーカーにとってのインジェクション導入ハードルを下げ、三菱電機圧縮機の活用促進につながっている。