

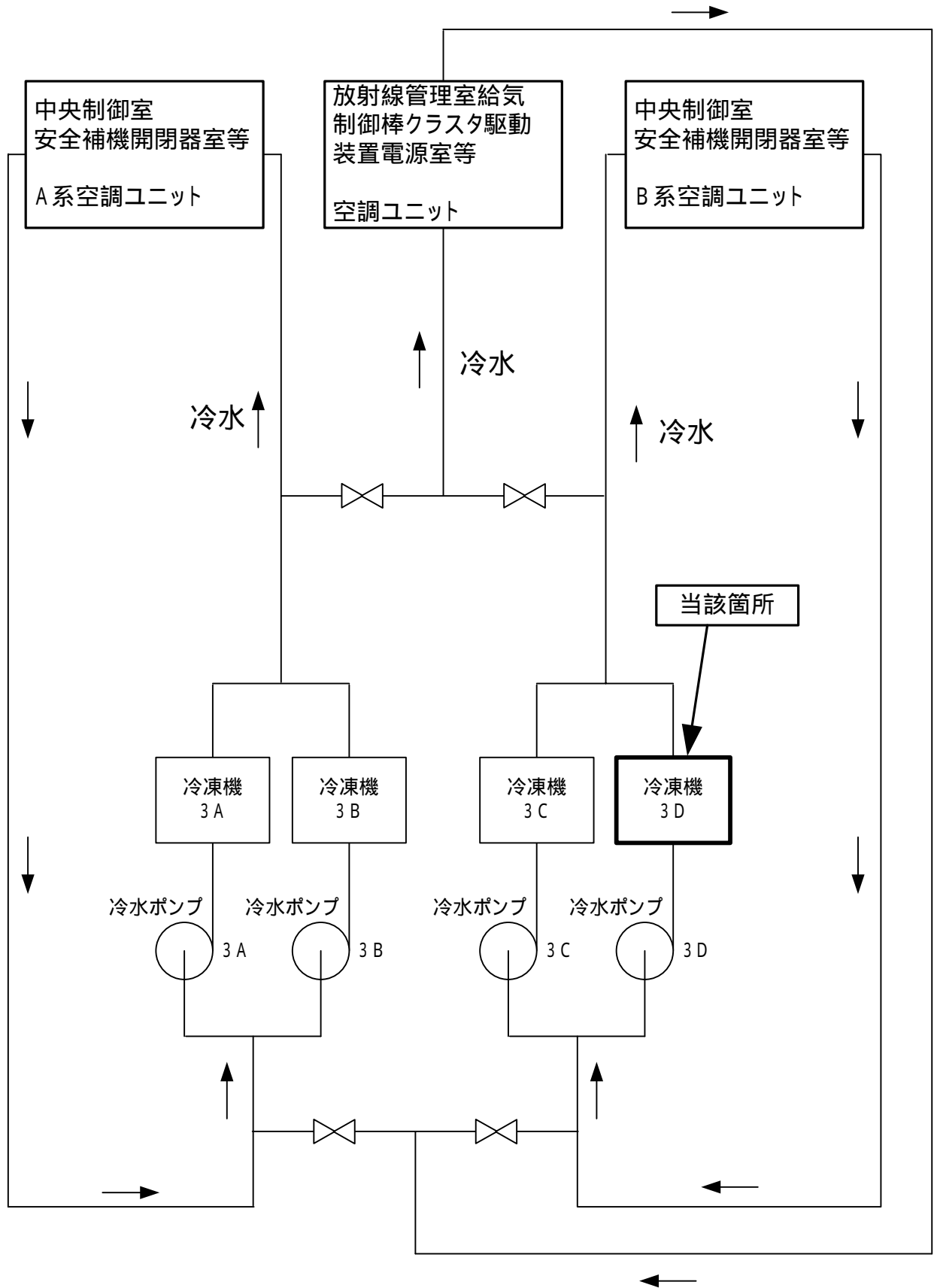
添 付 資 料

- 1 . 空調用冷水系統概略図
- 2 . 空調用冷凍機外形図
- 3 . 空調用冷凍機圧縮機断面図
- 4 . モニタチャート
- 5 . 外観目視調査結果（羽根車）
- 6 . 外観目視調査結果（シールリング）
- 7 . 外観目視調査結果（バネ座金）
- 8 . 外観目視調査結果（止め輪）
- 9 . 外観目視調査結果（主軸）
- 10 . 外観目視調査結果（ケーシング）
- 1 1 . 破面観察結果（羽根車）
- 1 2 . 破面観察結果（シールリング）
- 1 3 . 空調用冷凍機の損傷に係る要因分析図
- 1 4 . 羽根車吸込部とシールリングの接触可能性評価結果
- 1 5 . 圧縮機ベーン開度制御
- 1 6 . 羽根車・シールリング損傷メカニズム
- 1 7 . 主軸と吐出側仕切板の芯ずれ調整要領

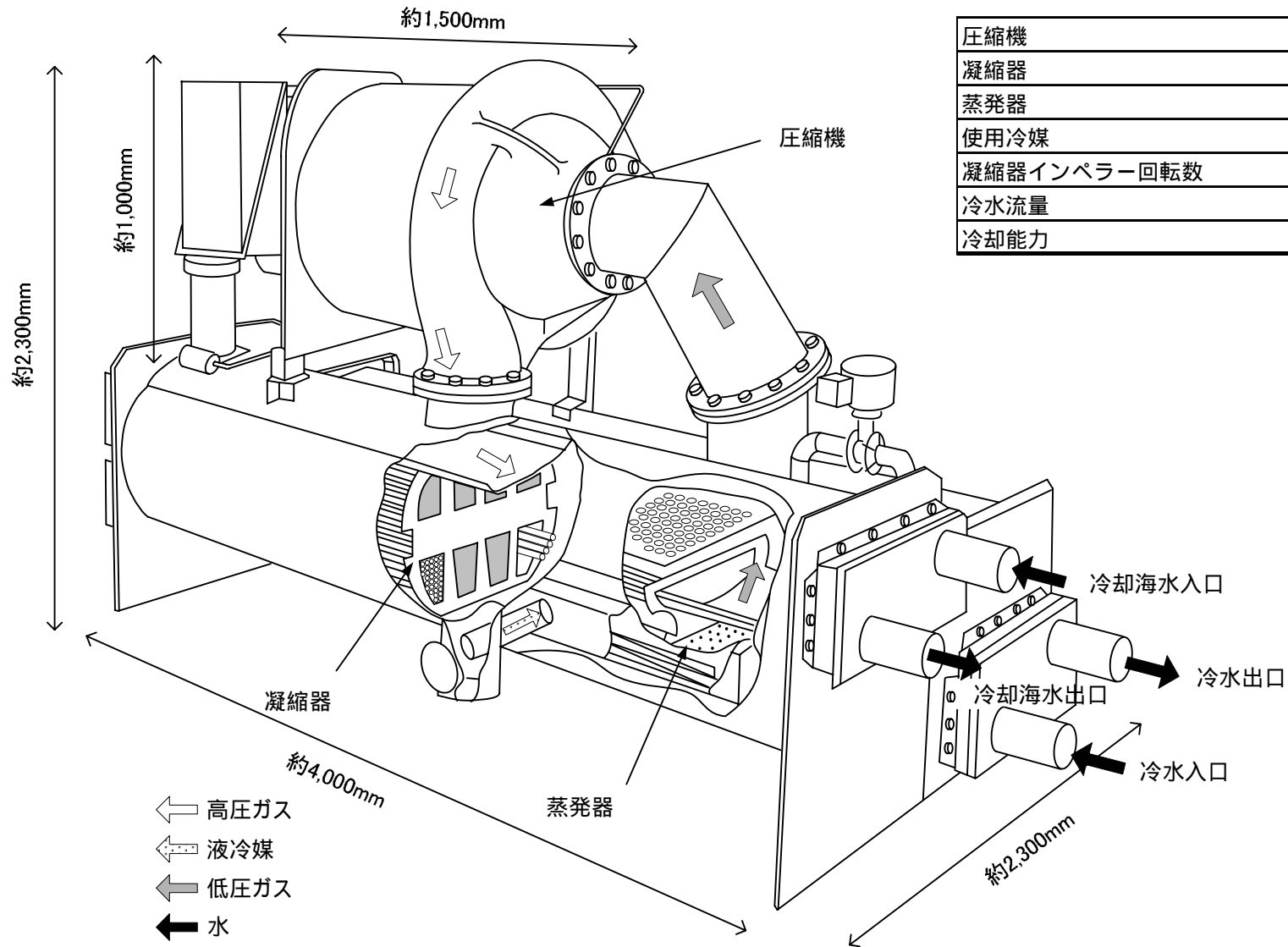
[参考資料]

- 1 . 用語説明

空調用冷水系統概略図

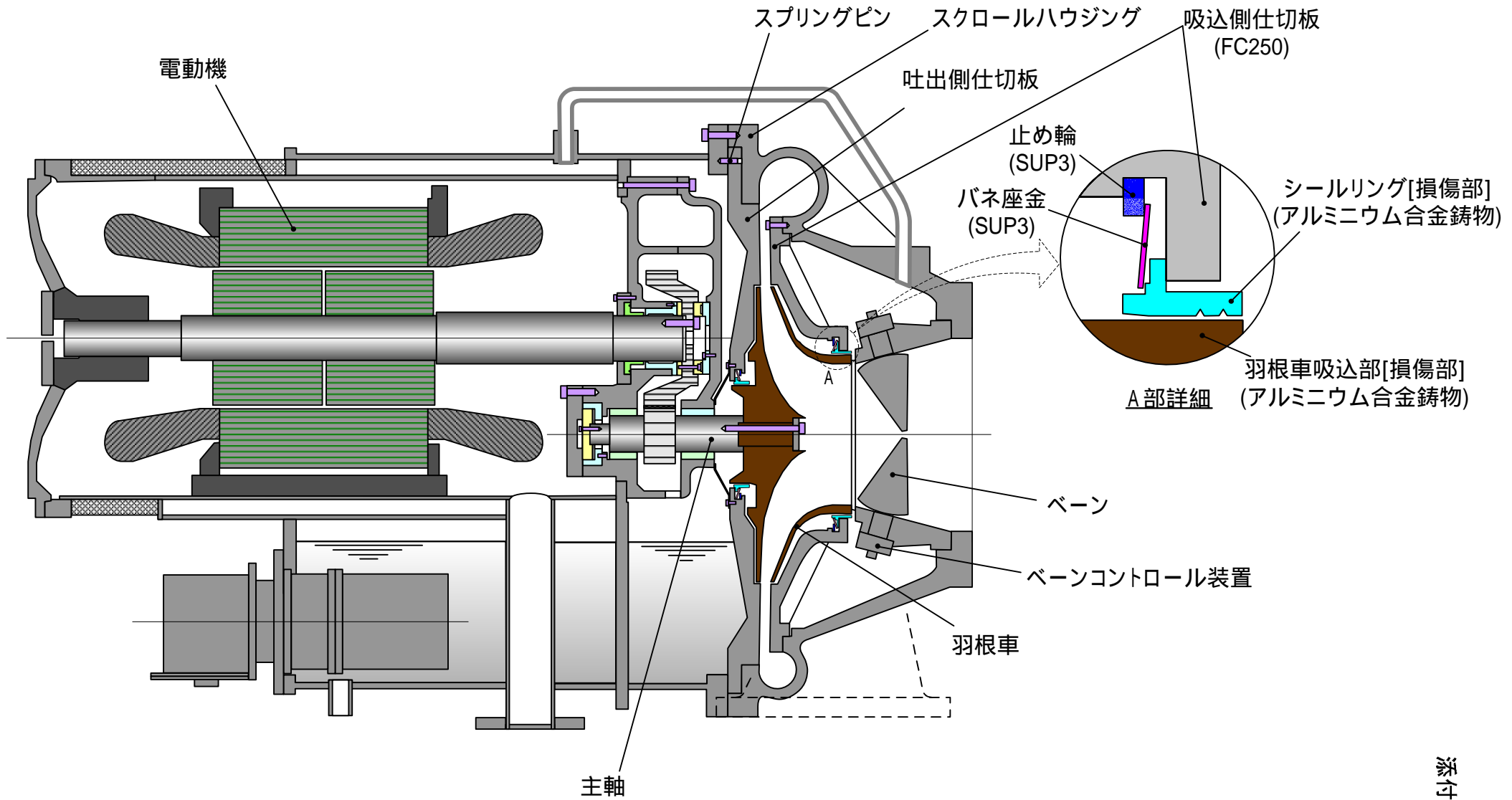


空調用冷凍機外形図



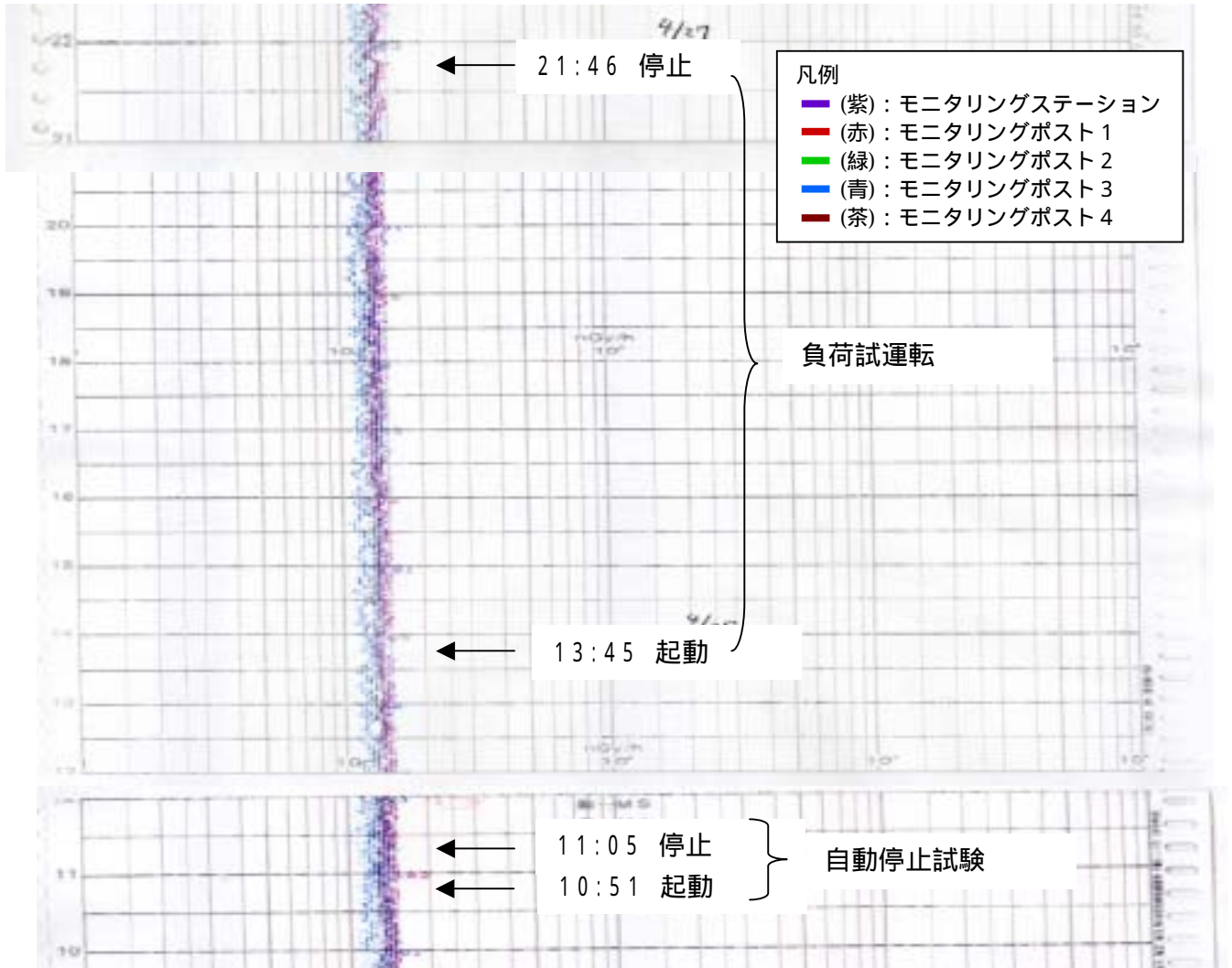
圧縮機	密閉単段片吸込形ターボ冷凍機
凝縮器	シェルアンドチューブ型海水冷却
蒸発器	シェルアンドチューブ型
使用冷媒	R - 123 (代替フロン)
凝縮器インペラー回転数	約10,000rpm
冷水流量	約130m ³ /h
冷却能力	553,000kcal/h

空調用冷凍機 圧縮機断面図

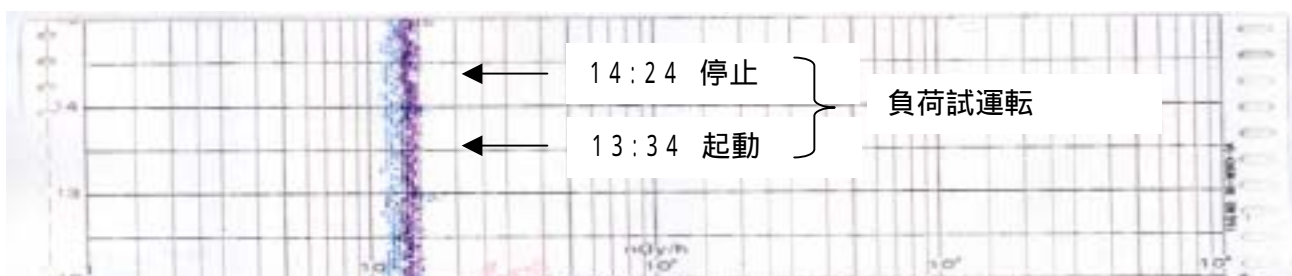


モニタチャート (野外モニタ)

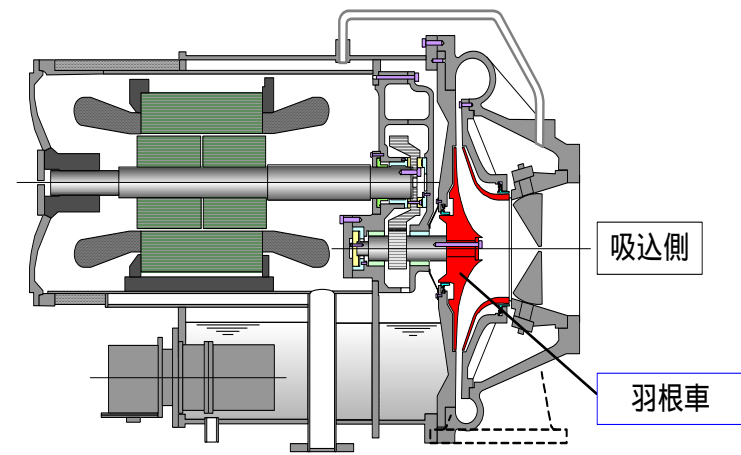
平成17年4月27日



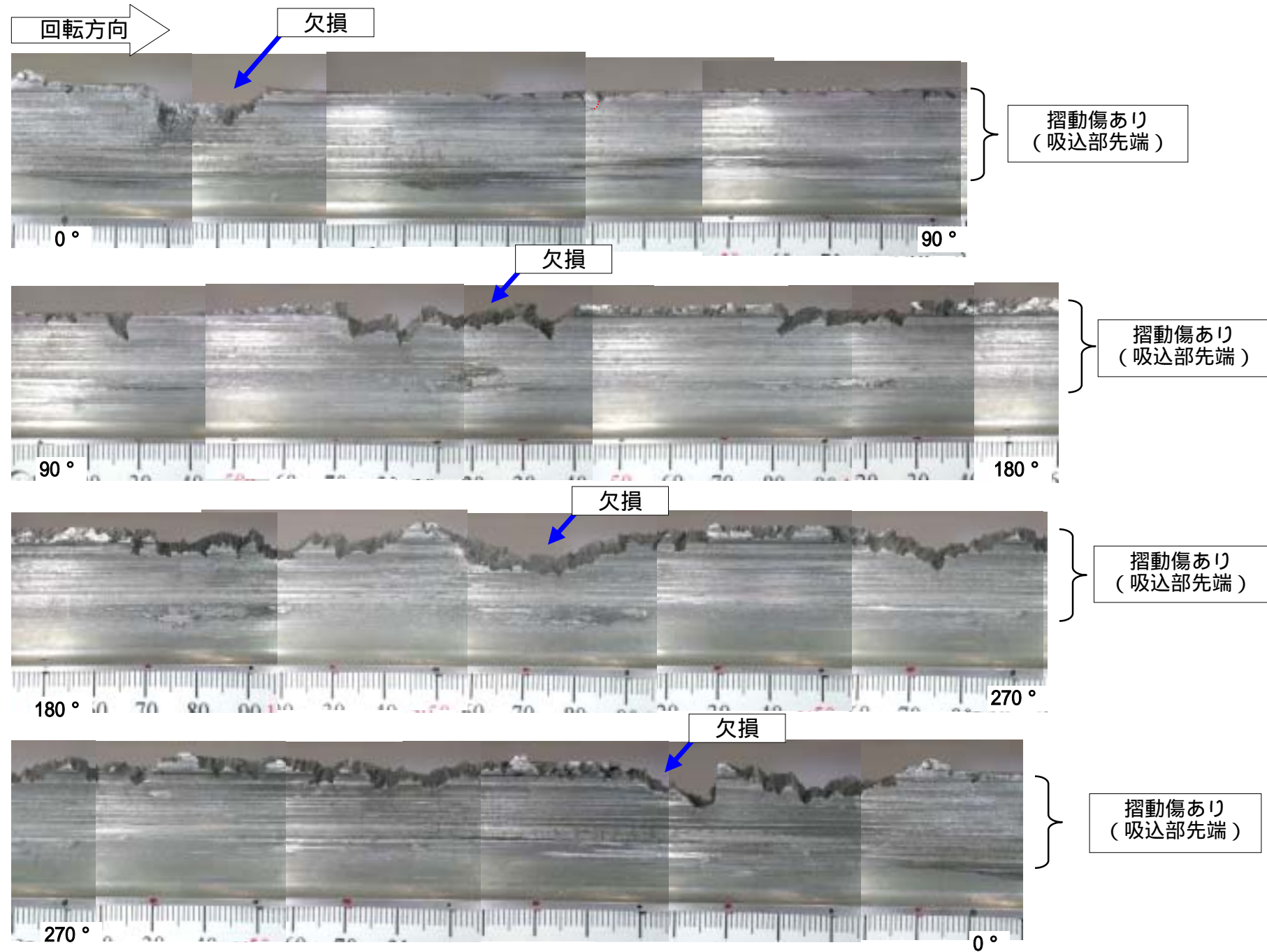
平成17年4月28日



外観目視調査結果(羽根車)

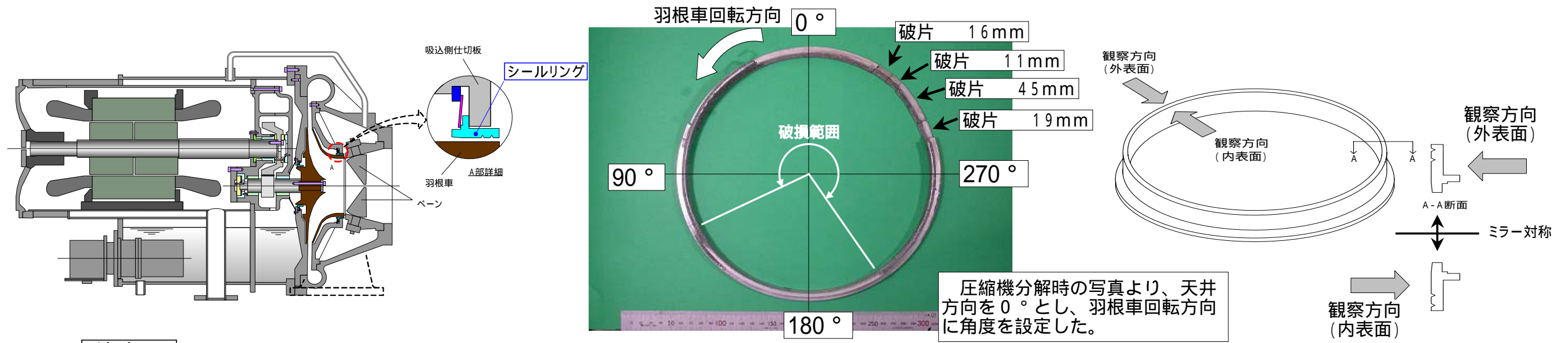


調査用に便宜上、羽根車回転方向に角度を設定した。

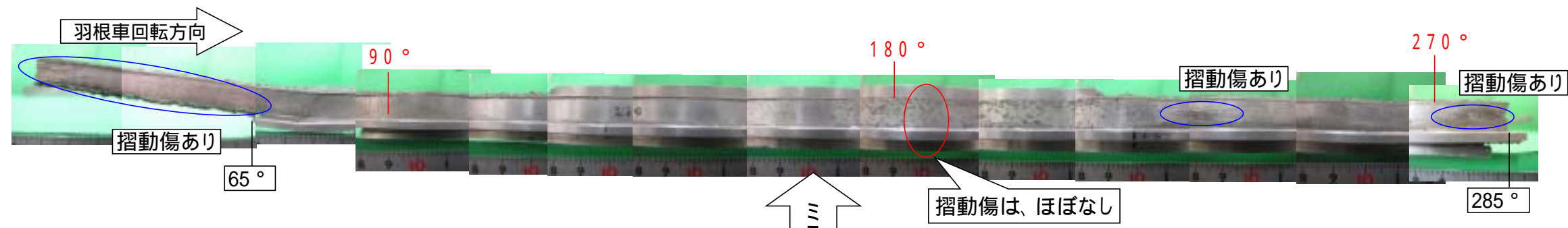


【観察結果】
 ・吸込部先端の全周に摺動傷が確認された。
 ・吸込部先端には欠損が認められた。

外観目視調査結果(シールリング)

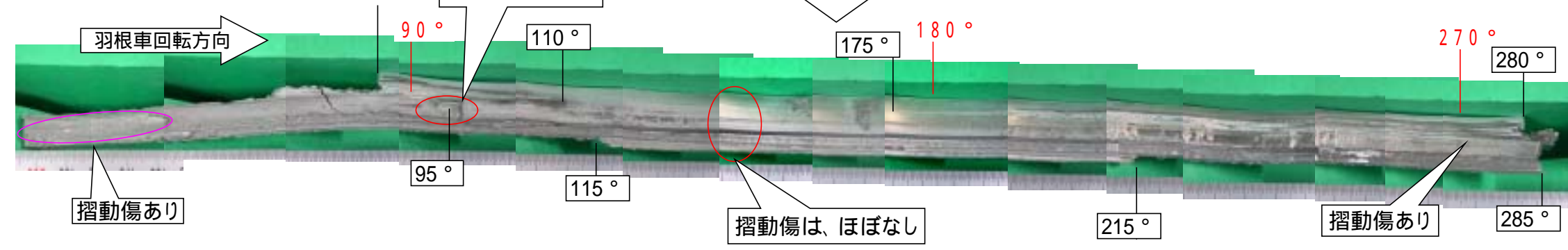


外表面



ミラー対称

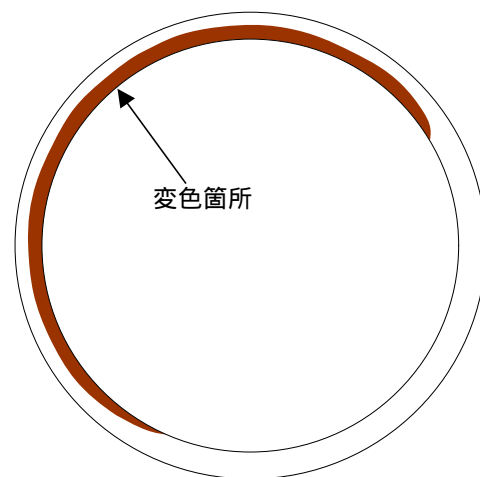
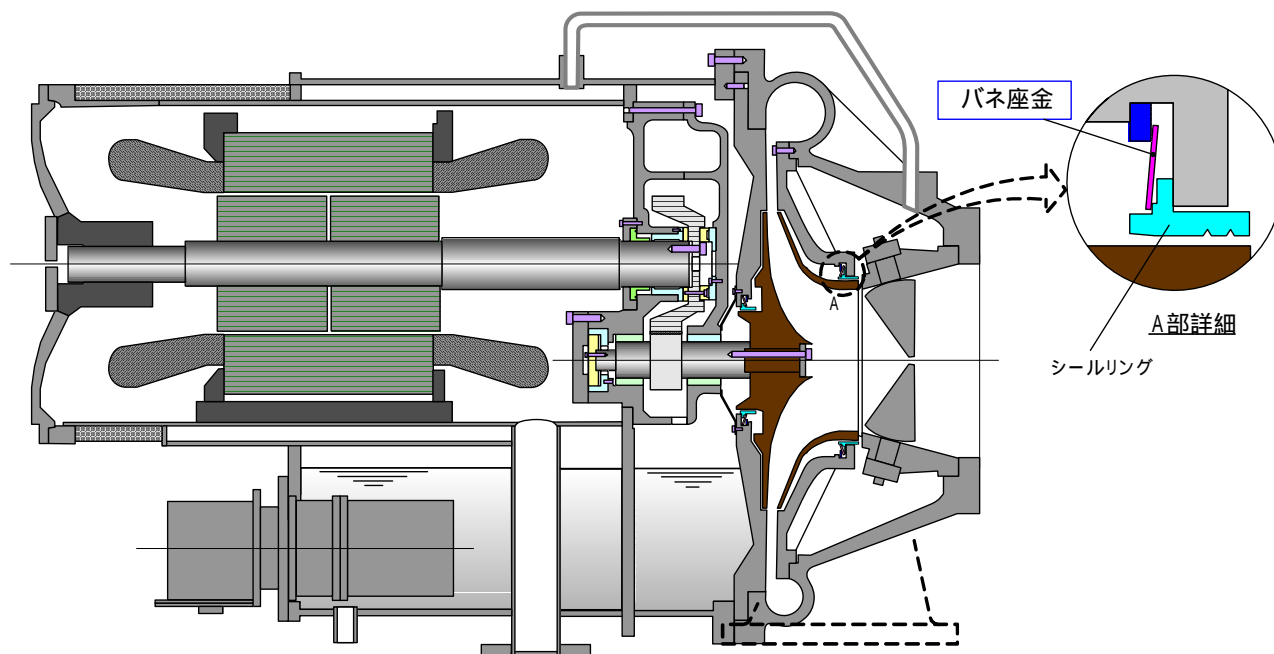
内表面



【観察結果】

- ・シールリングの内表面及び外表面には、摺動傷が確認された。
- ・シールリングの一部は破断していた。
- ・摺動傷は一様ではなく、ほとんど認められない箇所もあった。
- ・シールリングの内表面に、金属付着物が認められた。

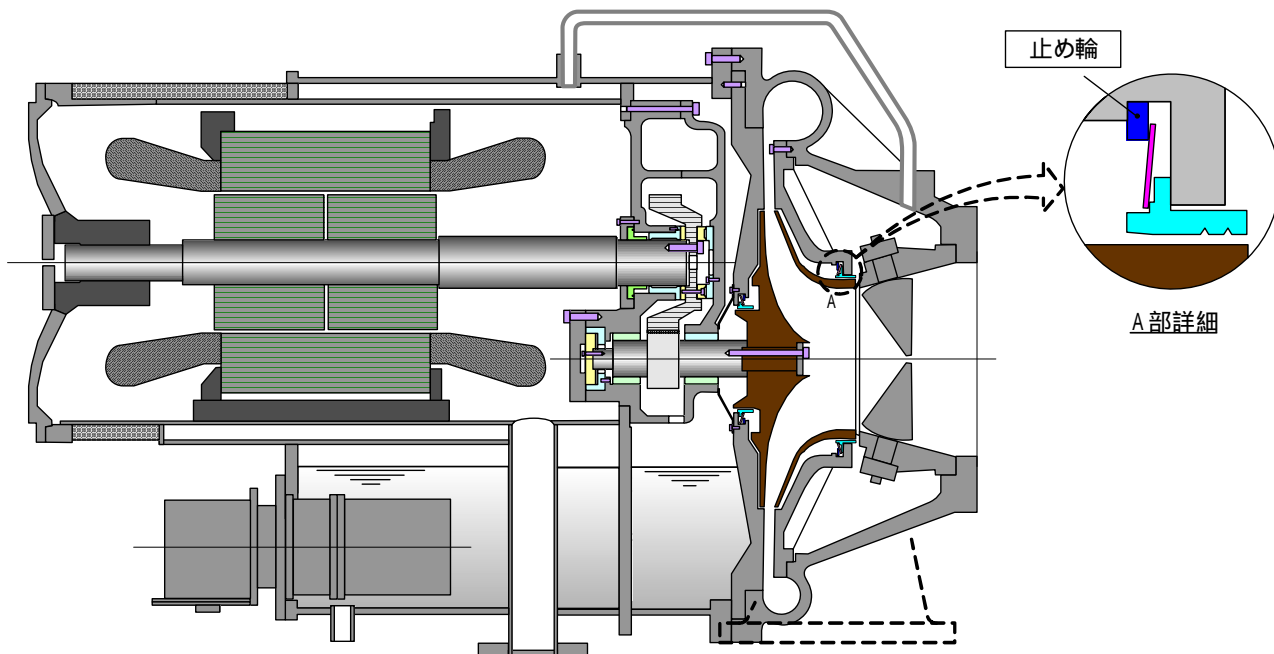
外観目視調査結果(バネ座金)



【観察結果】

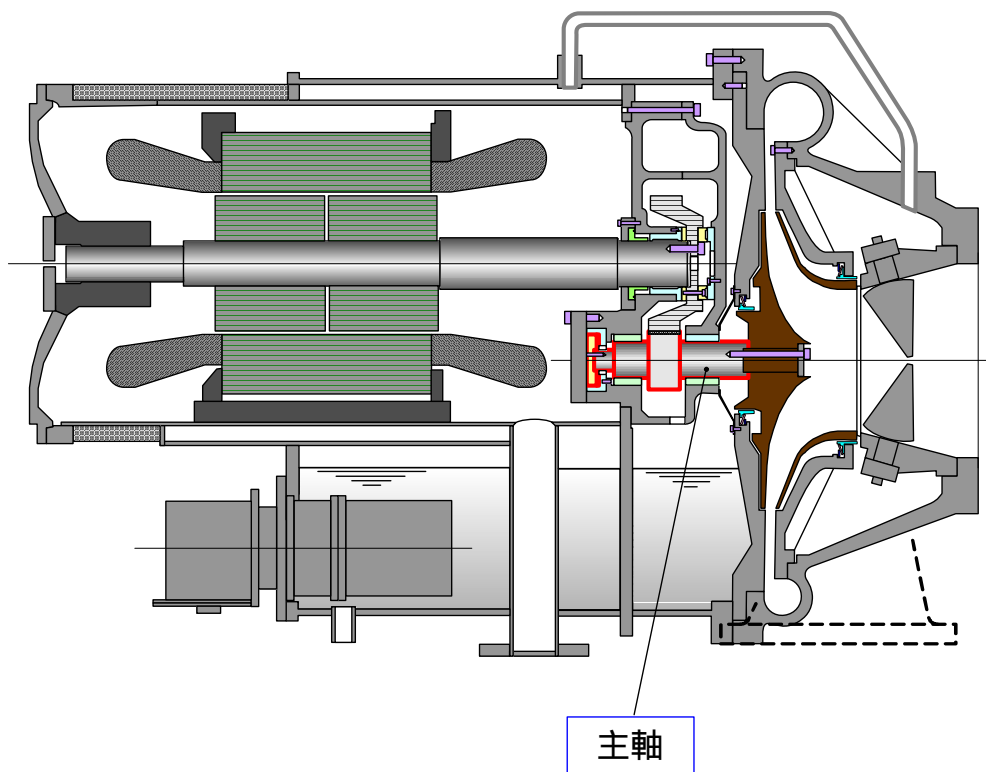
- ・内側の一部に変色が認められた。
- ・変形、損傷は認められなかった。

外観目視調査結果(止め輪)



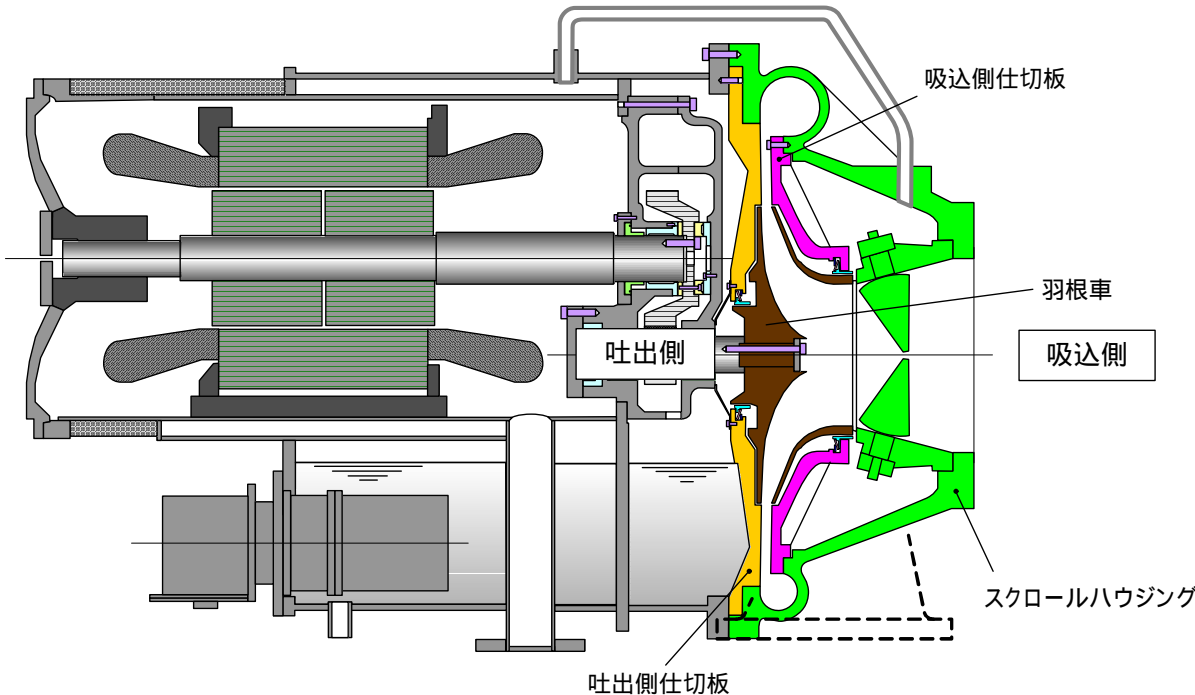
【観察結果】
・変形、変色、損傷は認められなかった。

外観目視調査結果(主軸)



【観察結果】
・変形、変色、損傷は認められなかった。
・浸透探傷検査を実施した結果、有意な指示は認められなかった。

外観目視調査結果(ケーシング)



スクロールハウジング



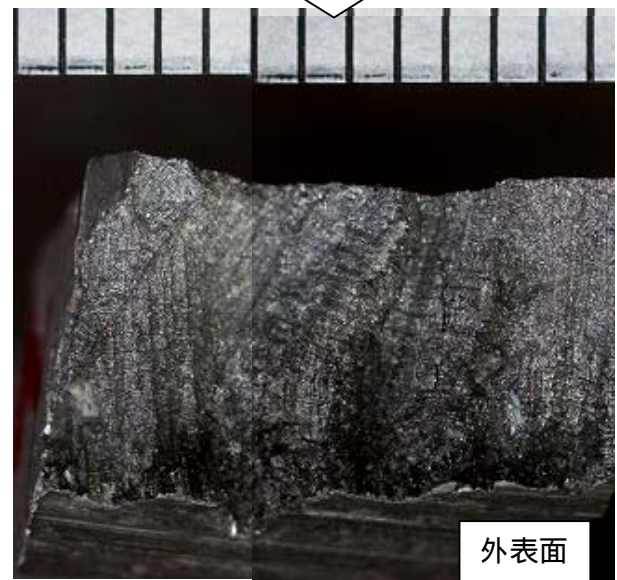
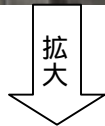
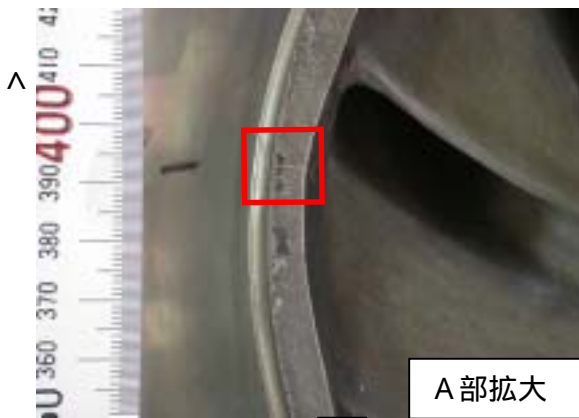
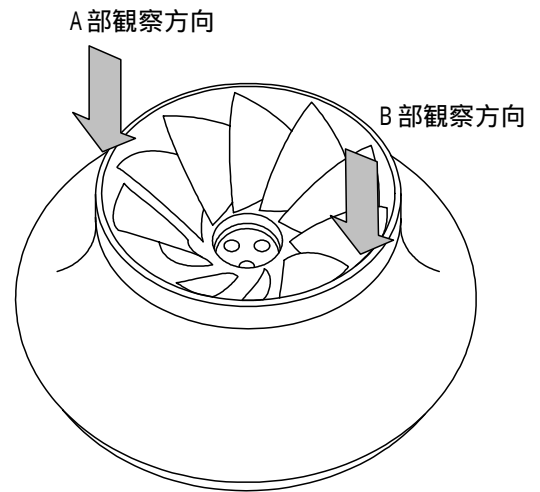
吸込側仕切板



吐出側仕切板

【観察結果】
・変形、変色、損傷は認められなかった。

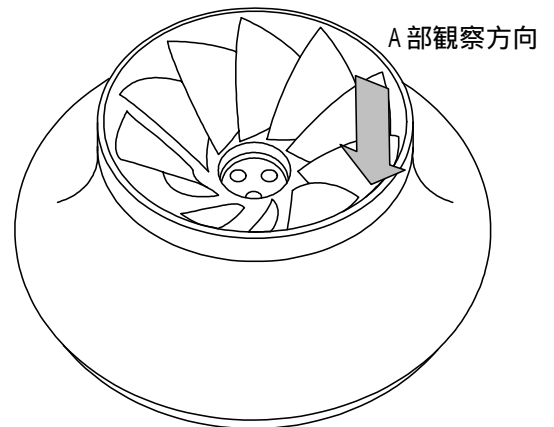
破面観察結果（羽根車） （破面マクロ観察）



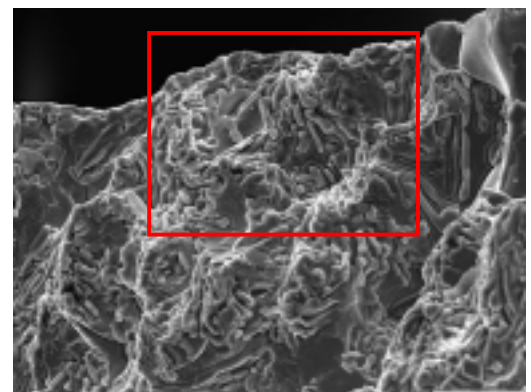
【観察結果】

- ・破面は、熱影響を強く受け、黒く変色している。
- ・割れは平坦ではない。

破面観察結果 (羽根車)
(破面SEM観察)



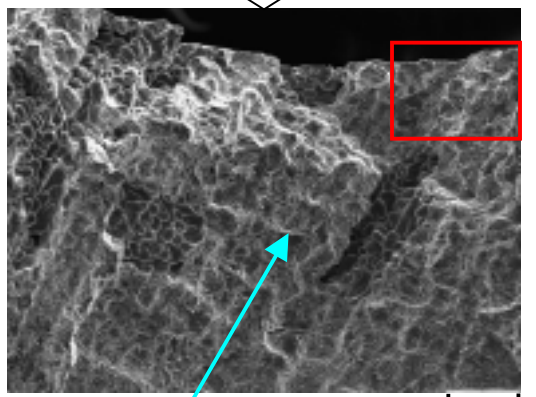
拡大



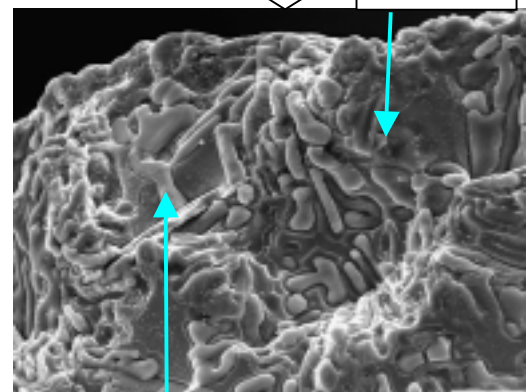
拡大

結晶粒界

拡大



樹枝状晶 (デンドライト)

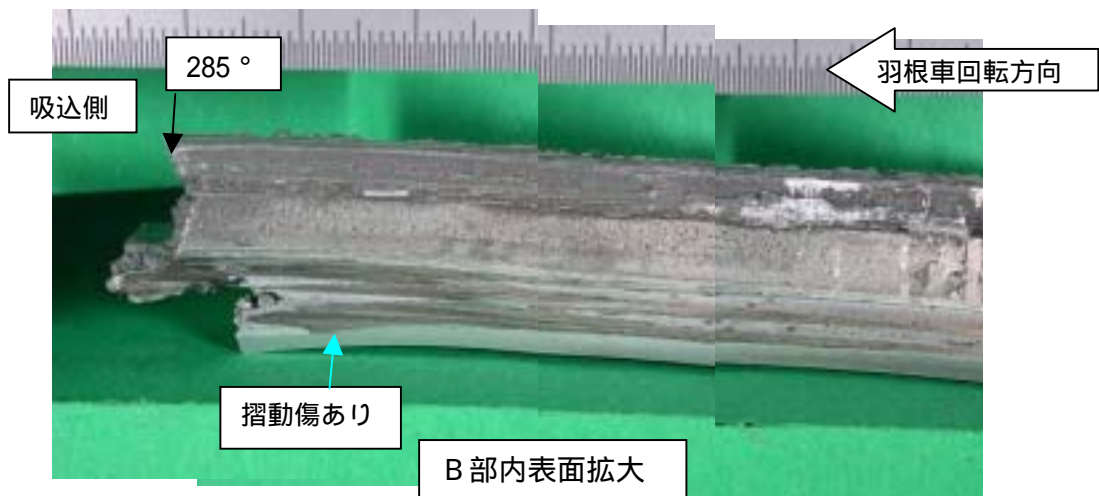
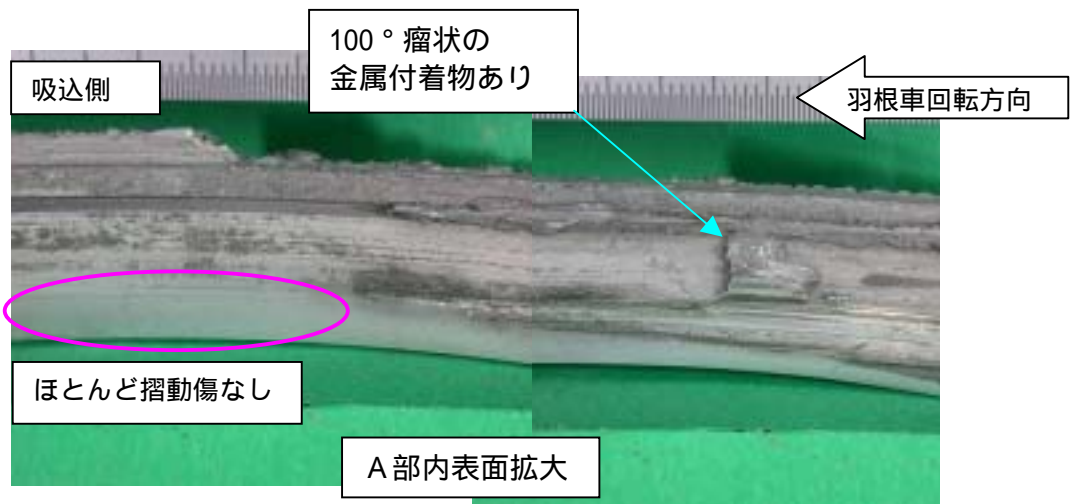
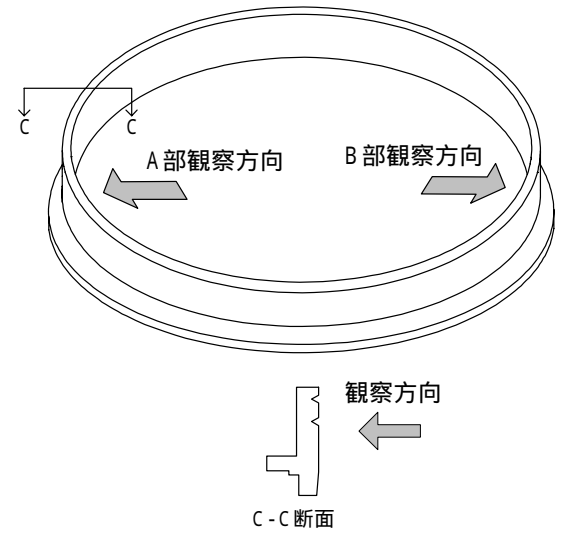
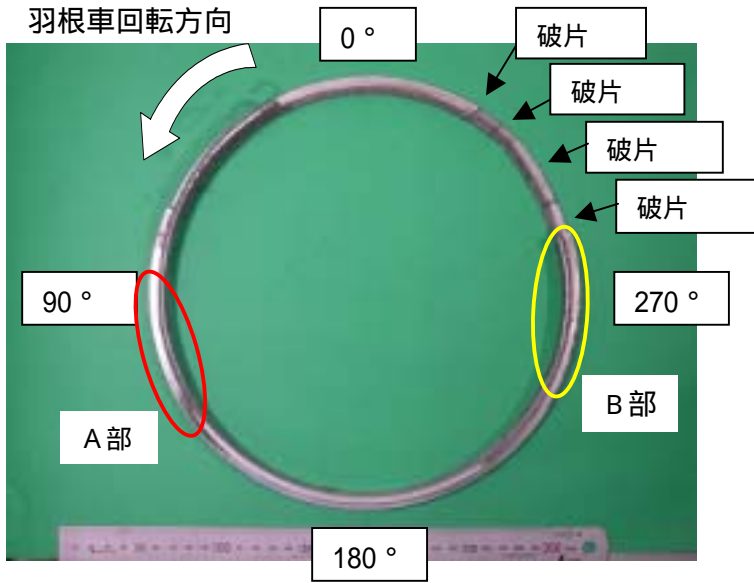


共晶生成物

【観察結果】

- ・破面には、樹枝状晶 (デンドライト) が認められた。
- ・吸込部先端では、高温下で強度低下した樹枝状晶 (デンドライト) 境界および結晶粒界での割れが認められた。

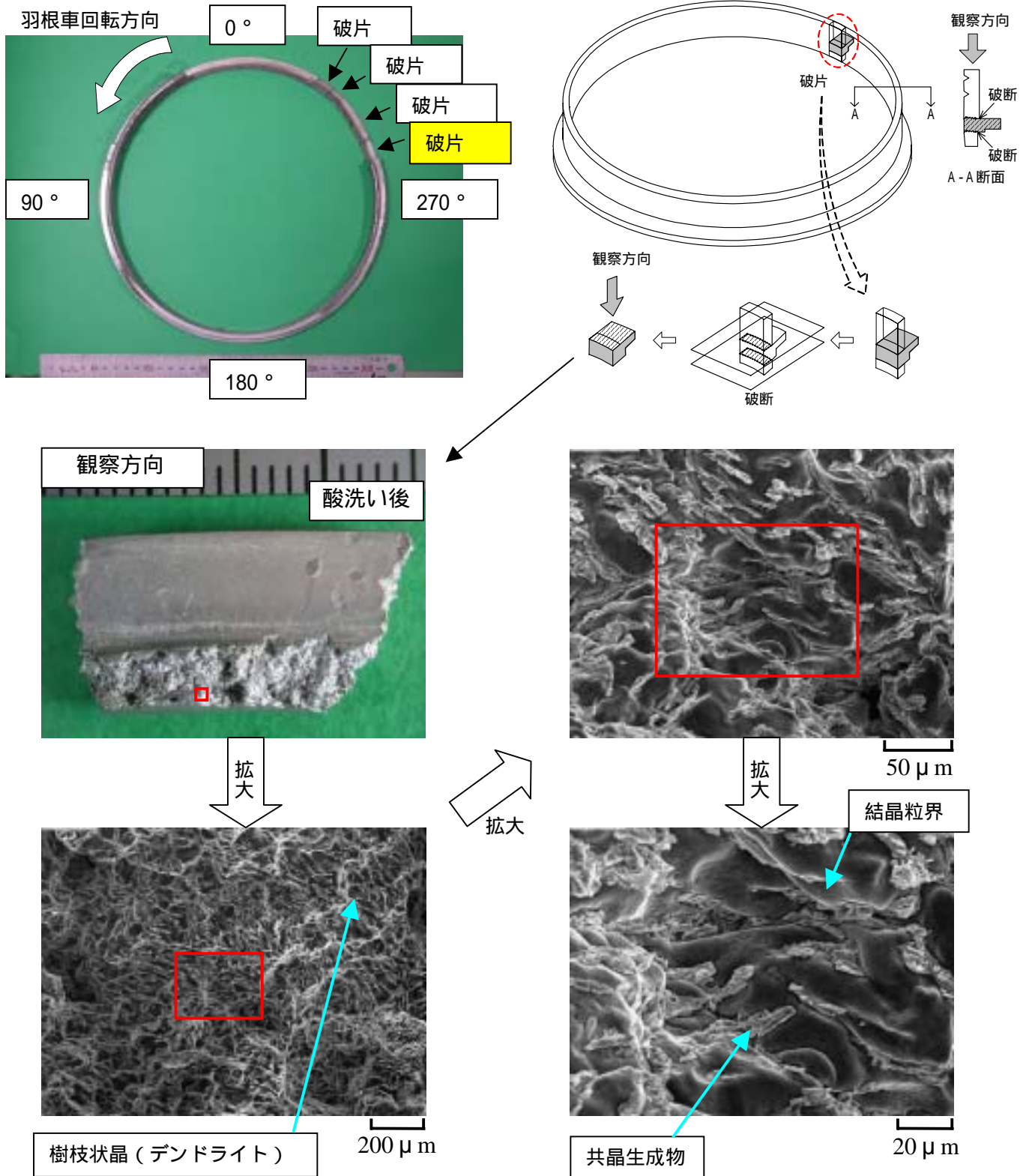
破面観察結果 (シールリング)
(破面マクロ観察)



【観察結果】

- ・ 内表面に瘤状の金属付着物が認められた。
- ・ 破断部近傍に、摺動傷が認められた。
- ・ ほとんど摺動傷がない箇所があるが、吸込側には摺動傷が認められた。

破面観察結果 (シールリング) (破面SEM観察)



【観察結果】
・高温下で強度低下した樹枝状晶 (デンドライト) 境界及び結晶粒界での割れが認められた。

空調用冷凍機の損傷に係る要因分析図

事 象	要 因		調 査 方 法	調 査 結 果	評 価
圧縮機の羽根車、 シールリング損傷	羽根車、シールリング の材料不良	材料不良	・製作状況調査	・羽根車について材料証明書を確認した結果、成分は規格値内であり、問題は認められなかった。 ・シールリングについては、発光分析等による成分分析を行った結果、設計仕様範囲内であり問題は認められなかった。	×
		シールリングの固着	寸法不良	・製作状況調査	シールリング製造時の寸法検査記録を確認した結果、製作公差内であり問題は認められなかった。
	施工不良		・保守状況調査	今回の分解組立状況を確認した結果、シールリングを吸込側仕切板に取り付け後にシールリングが可動することを確認しており、組立に問題のないことを確認した。	×
	羽根車とシールリング の芯ずれ	製造不良・設計不良	・組立寸法調査	・スクロールハウジング、吐出側仕切板、吸込側仕切板、電動機ケーシング等の各部寸法を測定した結果、寸法に問題のないことを確認した。 ・各部位の嵌合部間隙等を累積し評価した結果、羽根車吸込部と吸込側仕切板の最大芯ずれ量は0.89mmとなり、最大の芯ずれが生じた状態で組み立てた場合には、羽根車吸込部の許容される振れ量が1.15mmから0.26mmに減少することが判明した。一方、運転中に発生しうる羽根車吸込部の最大振れ量は0.35mmと推定されることから、羽根車の振れ量が大きくなった場合には、羽根車吸込部とシールリングが接触する可能性があることが判明した。 ・組立時に主軸と吐出側仕切板の芯ずれを調整すれば、運転中に発生しうる羽根車の最大振れが発生した場合でも、羽根車吸込部とシールリングが接触しないと評価された。	×
		施工不良	・保守状況調査 ・組立寸法調査	・今回の分解組立手順を確認した結果、作業要領書通りに行われており、各部分解点検記録等にも問題は認められなかった。 ・組立手順を調査した結果、羽根車を手動で回転させ羽根車とケーシング内の各部との接触音の有無により羽根車吸込部とシールリングが接触していないことを確認していたが、主軸と吐出側仕切板の芯ずれを調整していないことが分かった。	
	振 動	流体振動	・運転状況調査	・ベーン開度が全閉の流量が少ない状態で圧縮機を運転した場合、圧縮機内の流体に乱れが生じ、羽根車の振動が通常運転時より高くなる。 ・自動停止試験でベーン開度が全閉になった際、羽根車の振動が大きくなったと推定される。	
		アンバランス	・保守状況調査	・平成13年の分解点検時に、羽根車のバランス修正を実施していることを確認した。 ・今回の分解点検時に、羽根車の外観点検および浸透探傷検査を実施し、異常は認められなかった。	×
	羽根車劣化	疲労割れ	・保守状況調査	今回の分解点検時に、羽根車の外観点検および浸透探傷検査を実施し、異常は認められなかった。	×
		腐食	・保守状況調査	今回の分解点検時に、羽根車の外観点検および浸透探傷検査を実施し、異常は認められなかった。	×
	異物混入	施工不良	・保守状況調査	・今回の分解組立手順を確認した結果、各部組立時には、異物混入のないことを確認し組立を行っていた。	×

羽根車吸込部とシールリングの接触可能性評価結果 (実機寸法測定結果による評価)

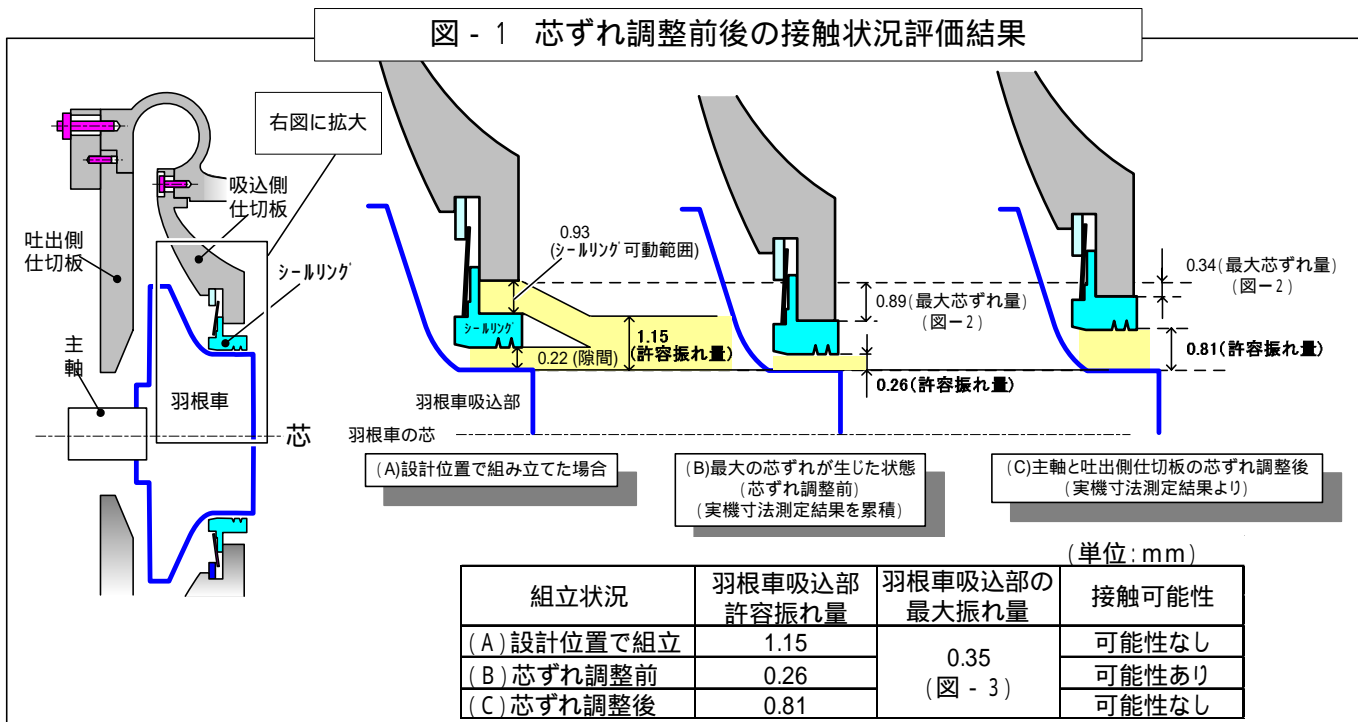


図 - 2 最大芯ずれ量の内訳

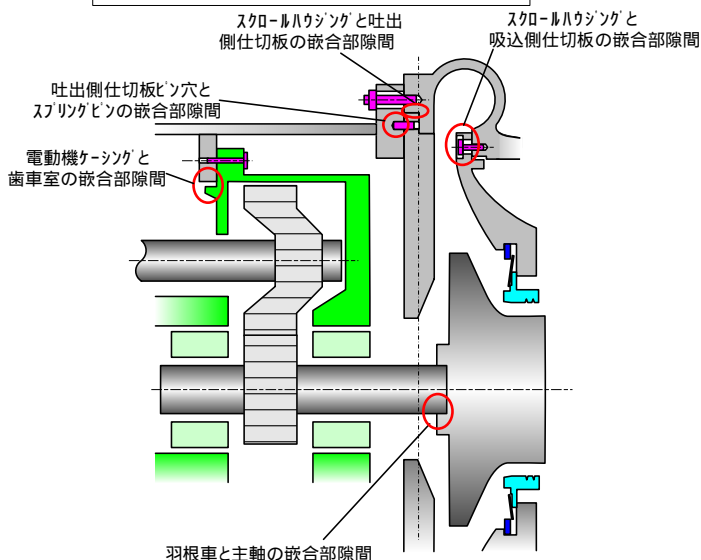
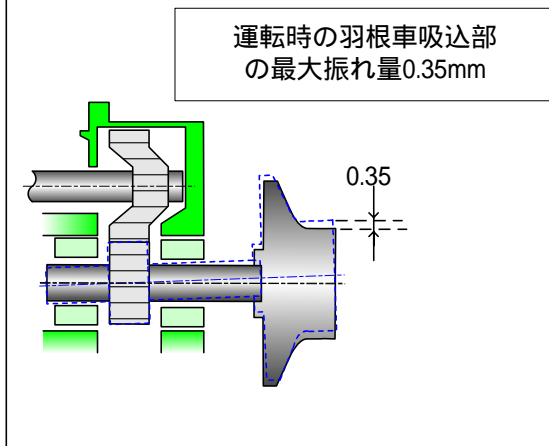


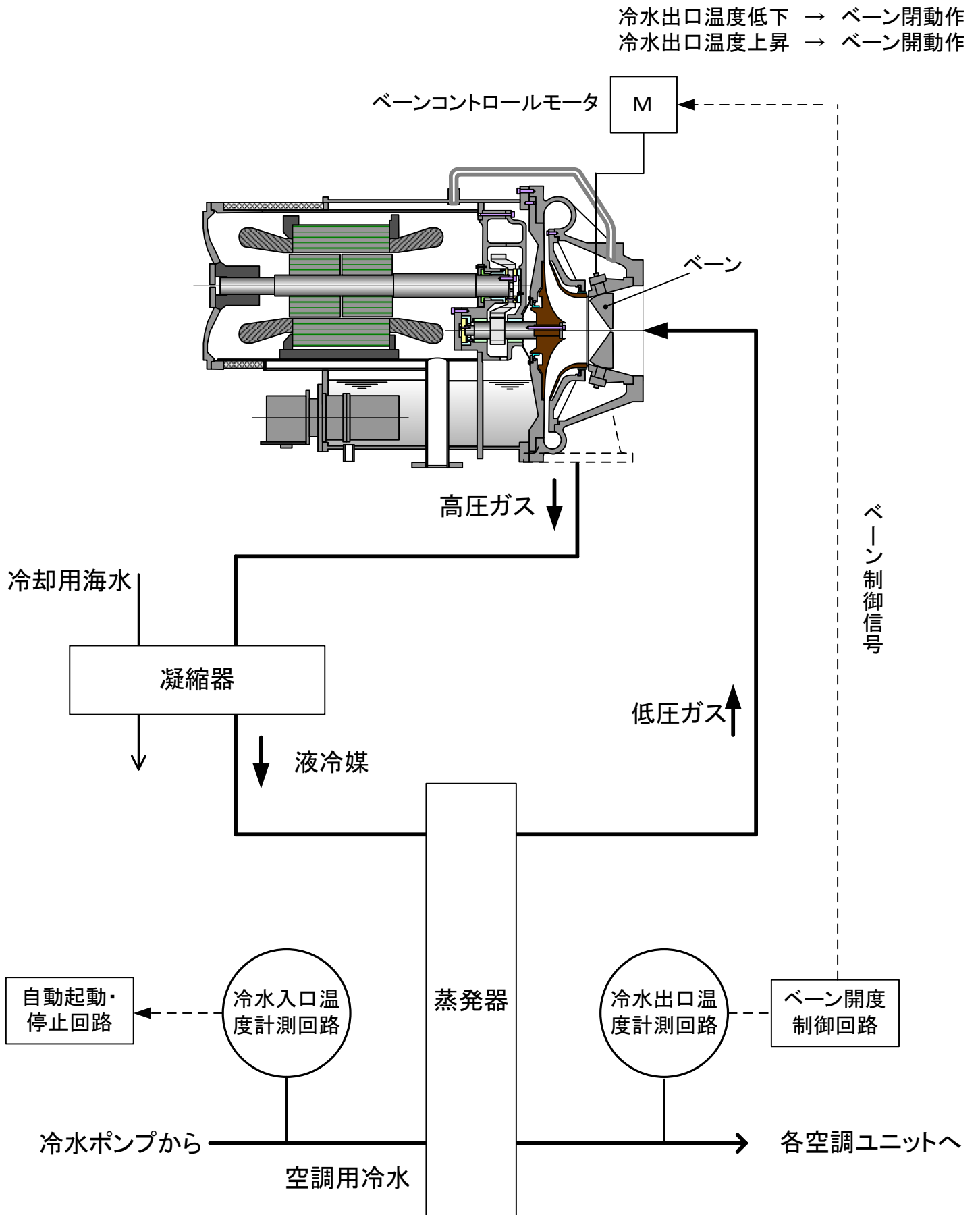
図 - 3 羽根車吸込部の最大振れ量



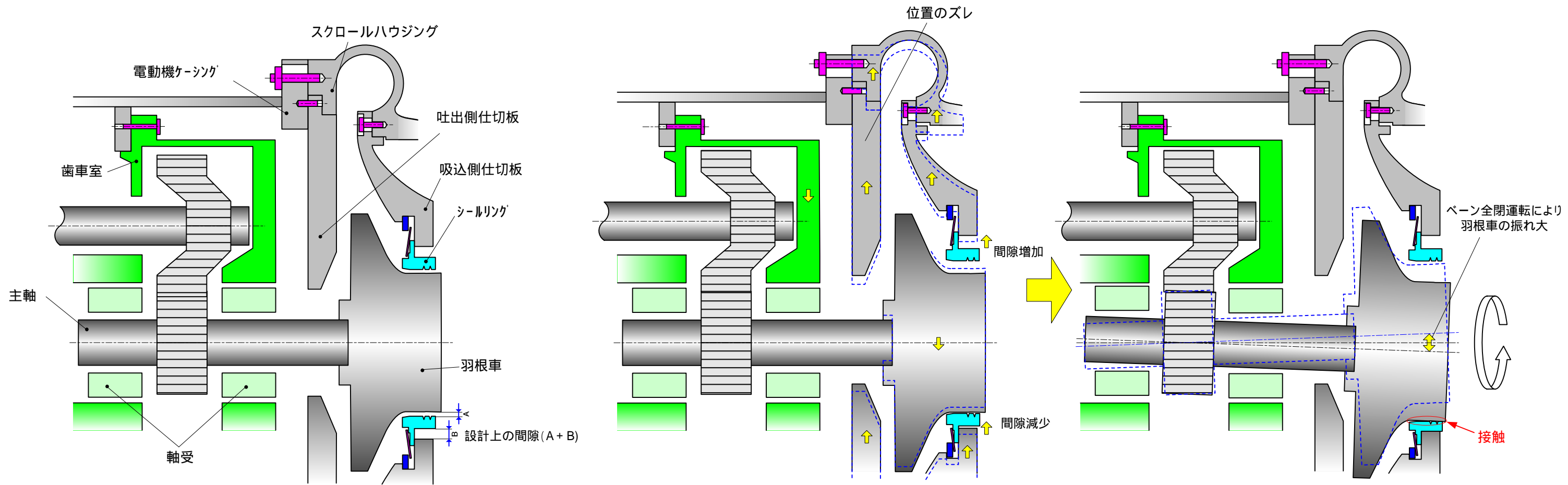
項目	最大芯ずれ量(単位: mm)	
	調整前	調整後
(1) 羽根車取付によるずれ	0.02 (羽根車と主軸の嵌合部隙間)	0.02 (同左)
(2) 吐出側仕切板取付によるずれ	0.67 〔電動機ケーシングと歯車室の嵌合部隙間 吐出側仕切板ピン穴とスプリングピンの嵌合部隙間 他〕	0.12 〔主軸と吐出側仕切板の 芯ずれ調整誤差 他〕
(3) スクロールハウジング取付によるずれ	0.20 〔スクロールハウジングと吐出側仕切板の嵌合部隙間 スクロールハウジングと吸込側仕切板の嵌合部隙間〕	0.20 (同左)
合計	0.89	0.34

()内は、芯ずれ要因箇所を示す。

圧縮機ベーン開度制御



羽根車・シールリング損傷メカニズム



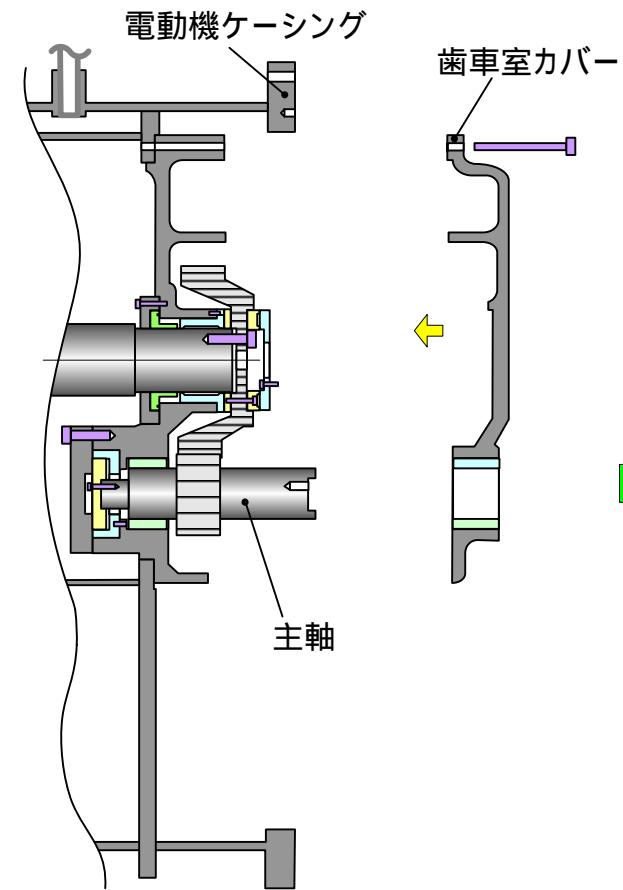
吐出側仕切板位置ズレ等によるシールリング他の位置ズレ発生

設計位置

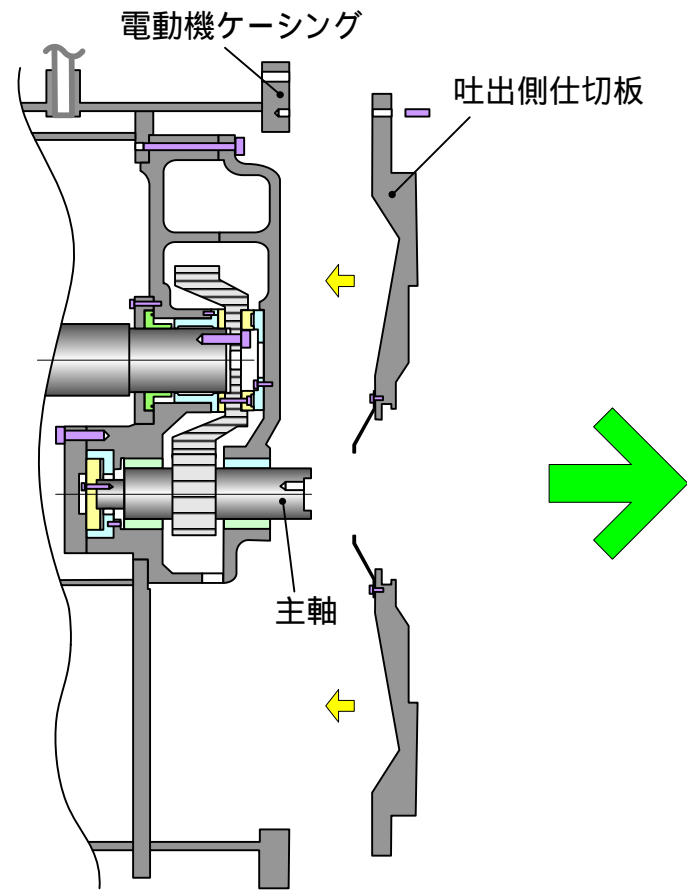
今回組立時

自動停止試験時

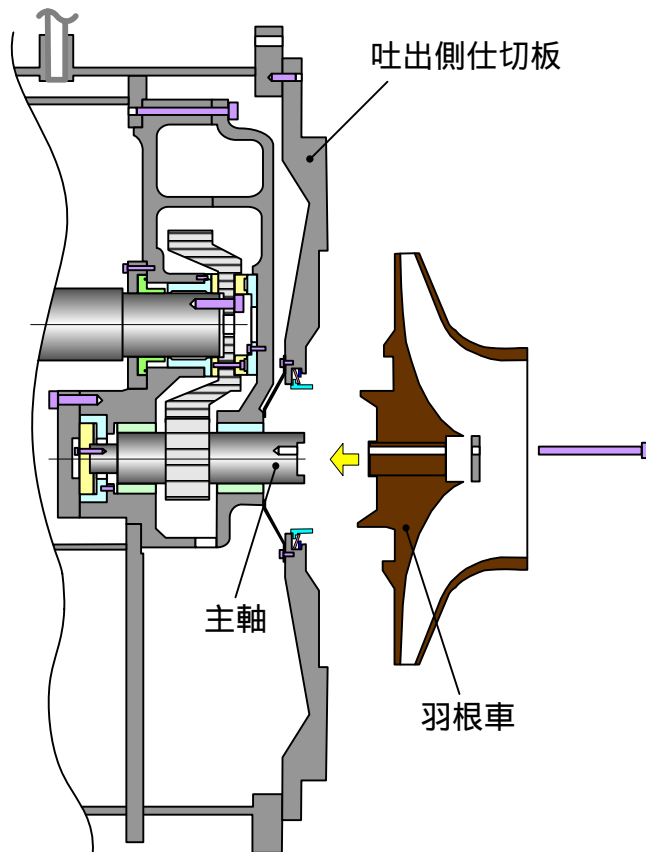
主軸と吐出側仕切板の芯ずれ調整要領



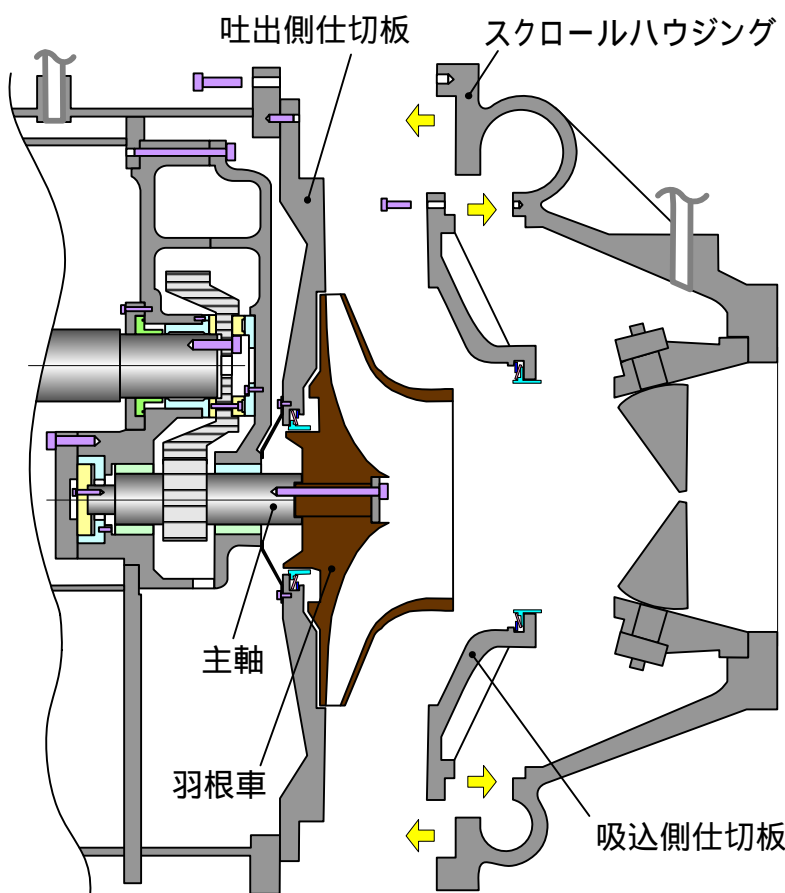
歯車室組付



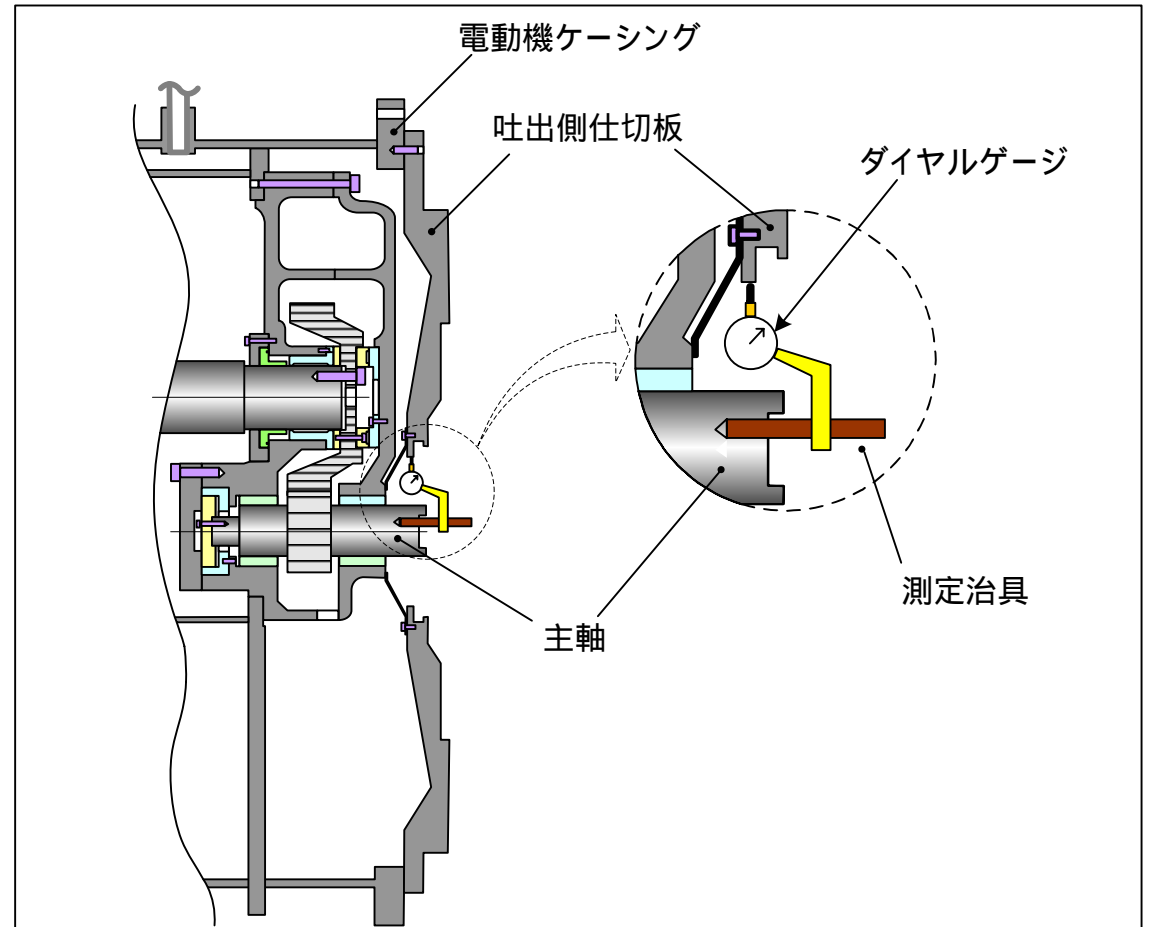
吐出側仕切板組付



羽根車組付



スクロールハウジング組付



[調整要領]

1. 主軸に芯ずれ測定治具を取り付け、吐出側仕切板の内径にダイヤルゲージをセットする。
2. 主軸を回転させ、上下左右4カ所のダイヤルゲージ指示値より、芯ずれ量を求める。
3. 必要に応じ、吐出側仕切板を移動させ、芯ずれ量を調整する。

用語説明

空調用冷凍機

空調設備で使用される冷水を供給する設備。冷媒が蒸発するときに回りから奪う潜熱を利用して中央制御室やECCS系機器の電源遮断器室等の空調用ユニットに供給する冷却水を冷やす。伊方3号機では4台設置している。

圧縮機

空調用冷凍機の一部で蒸発器にて蒸発した冷媒ガスを吸入し、高速回転する羽根車により圧縮して凝縮器に吐出する装置。

羽根車

圧縮機内部に取り付けられた流体に強制的に運動エネルギーを与える羽根を持つ回転体。インペラとも呼ぶ。

シールリング

羽根車と吸込側仕切板との間隙をできるだけ少なくして冷凍機効率を高めるため、吸込側仕切板に取り付けられたリング状構造物。

バネ座金

シールリングを吸込仕切板に押さえ付けている座金。止め輪とシールリングとの間でバネとしての役割を果たす。シールリングはバネ座金により吸込側仕切板に押し付けられているが、ある程度の力を加えることでシールリングは半径方向に移動することができる。

止め輪

バネ座金を吸込仕切板に固定するために用いる部品。

主軸

電動機から与えられたトルクを先端部に取り付けられた羽根車に伝達する回転軸。

浸透探傷検査 (PT)

供試体表面に開口している傷を目で見やすくするため、蛍光物質または可視染料の入った高浸透性の液(浸透液)を浸透させた後、余分な浸透液を除去し現像剤により浸透指示模様として観察する方法。

ケーシング

羽根車を覆うカバー。吐出側仕切板、スクロールハウジング、吸込側仕切板などの部品で構成される。

スクロールハウジング

羽根車室とも言い、羽根車にて加圧された冷媒ガスの通過口を形成する。羽根車を覆うカバーである吸込側仕切板、ベーンなどが取り付けられる。

ベーン

圧縮機入口に設けられた羽根。自動的に開度を調節することにより羽根車に入る冷媒ガスの流量を制御する。

EPMA (Electron Probe Micro Analyzer: 電子線マイクロアナライザー)

非常に細く絞った電子線を試料表面に照射し、分析エリアから発生する各元素に特有なX線(特性X線)を検出することで、試料表面の微量分析(元素同定、定量分析及び化合物特定等)を行う装置。

破面マクロ観察

材料の損傷部位を調べることにより、損傷原因に関する情報を得る為、損傷部位の表面状態、模様等を観察すること。

破面SEM観察

損傷部位の破面を走査型電子顕微鏡(SEM: Scanning Electron Microscope)にて観察することにより、割れがどのような応力下で生じたかを調べる調査(破面形状、割れ先端形状の確認)。

樹枝状晶(デンドライト)

溶融金属が凝固する際、通常見られる結晶であり、樹木の形に見えることからこう呼ばれる。

要因分析図

事象の原因を特定するために、考えられる要因を抽出し評価を行うための図。

発光分析

原子にエネルギーが加えられると、原子はより高いエネルギー状態(励起状態)となるが、ごく短時間で元のエネルギー状態(基底状態)に戻る。基底状態に戻る時に原子固有の波長の光が放出されるため、これを検出することで元素毎の定量分析ができる。通常励起エネルギーには熱源(アーク、プラズマ)などが用いられる。

製作公差(寸法公差)

製作上許容される寸法の幅。

共晶生成物

2成分以上を含む単一の液体から、ある温度以下で同時に晶出する2種以上の固相(結晶)の混合物。

結晶粒界

多結晶体における結晶粒どうしの境界。

塑性変形

ある荷重状態のもとで、外から力を加えると大きく変形し、外からの力を取り除いても元に戻らない変形。

FC250

ねずみ鉄で、引張強さ(引張って破断させる時に生じる最大の応力)が250N/mm²以上のもの。ハンマーで叩き割った時に見える破面がねずみ色に見えることから名付けられた。JIS G 5501で規定されている。

SUP3

ばね用として使用される鋼材の一種。JIS G 4801で規定されている。