

パンフレット
コールドエバポレータ(CE)設備における配管溶接部、ろう付け部の
疲労事故対策の注意事項

1. 目的

近年、コールドエバポレータ(CE)設備における漏えい事故の件数が増加している。CE 設備における事故を分析した結果、配管溶接部、ろう付け部からの漏えい事例が多いことが判明した。漏えいの主な原因は、低温液化ガスの温度変動に起因する疲労と推定される。疲労の事故は、ここ数年の間に報告が増加する一方であり、対策が課題となっている。このため、CE 設備における事故の再発防止、未然防止に向け、漏えいが発生した部位を特定するとともに、問題点を抽出した。さらに、CE 設備における疲労事故の部位ごとの事故事例を示し、今後の対策を図るための注意事項をとりまとめた。

2. CE 設備における疲労事故統計

過去3年間(2007年～2009年)で、CE 設備における事故について、原因の分類を図1に、疲労事故の漏えい部位の分類を図2に示す。

CE 設備における事故の概要を精査し、原因を分類した結果を図1に示す。過去3年間で、CE 設備における事故は91件報告されているが、そのうち疲労が原因と考えられる事例は64件(約7割)である。ここで、1件の事故報告で複数事例を含む場合は、個別にカウントした。従来、疲労は劣化、腐食として分類されていたが、ここでは明確に疲労として区分する。

疲労が原因の事故64件について精査し、漏えい部位を分類した結果を図2に示す。漏えい部位は、配管ラインが約8割、蒸発器が約2割を占める。

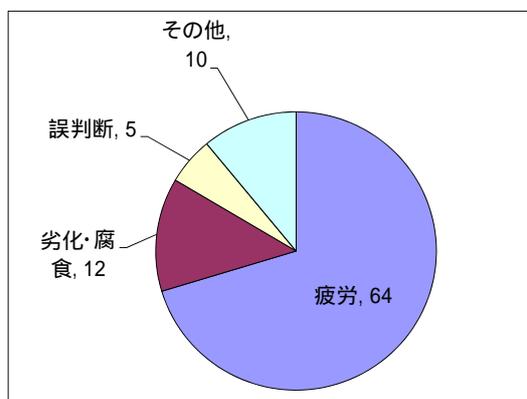


図1 CE 設備における事故の原因

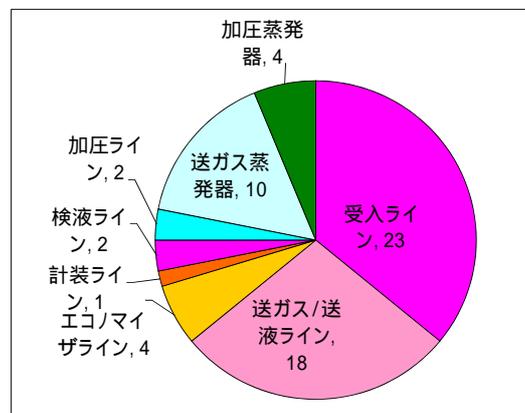


図2 疲労事故の漏えい箇所

3. 疲労事故対策の注意事項

一般的なCE設備の概略図を図3に示す。配管ラインは 受入ライン、送ガス/送液ライン、エコノマイザライン、計装ライン、検液ライン、加圧ラインに分類される。蒸発器は、送ガス蒸発器、加圧蒸発器に分類される。また、図には過去3年間の疲労事故の漏えい部位も記載した。この図から、CE 設備における疲労は、低温の液化ガスが流れる受入ライン、送ガスライン及び蒸発器で主に発生していることがわかる。なお、CE 設備にも種々の型式があり、配管ラインは異なるが、図3では見易さを優先して、1枚の図面に

まとめている。

疲労事故の部位と接合方法は、ろう付け部が多い。これは施工時に生じた微小なボイドなどの内在欠陥を起点として、熱応力の繰り返し、振動によりき裂が発生、進展する結果と推定され、施工不良が関係する。このため、現場でのろう付けは施工環境に注意が必要であり、できるだけ工場で施工することが望ましい。特に、老朽化した CE 設備における現場施工の部位は、定期的に再施工することも有効である。一般的に、ろう付けは溶接よりも強度が低い。近年は、現場ではなく工場での置きろうによる接合、ろう付け施工要領の策定など、ろう付けの強度を向上させる努力がなされている。また、設備、部材の更新時には、例えば差込みろう付けから突合せ溶接への変更のように、他の接合方法に変更する場合もある。

なお、過去 3 年間で、疲労により溶接部、ろう付け部に漏えいが発生した事故は、多くが点検中に発見されており、死傷者は 0 名である。近年、関係業界団体により、点検を推進する活動がなされている。重大事故防止の観点からも、積極的な点検、検査により、漏えいを早期に発見し、補修することが重要であり、成果が挙がっている。

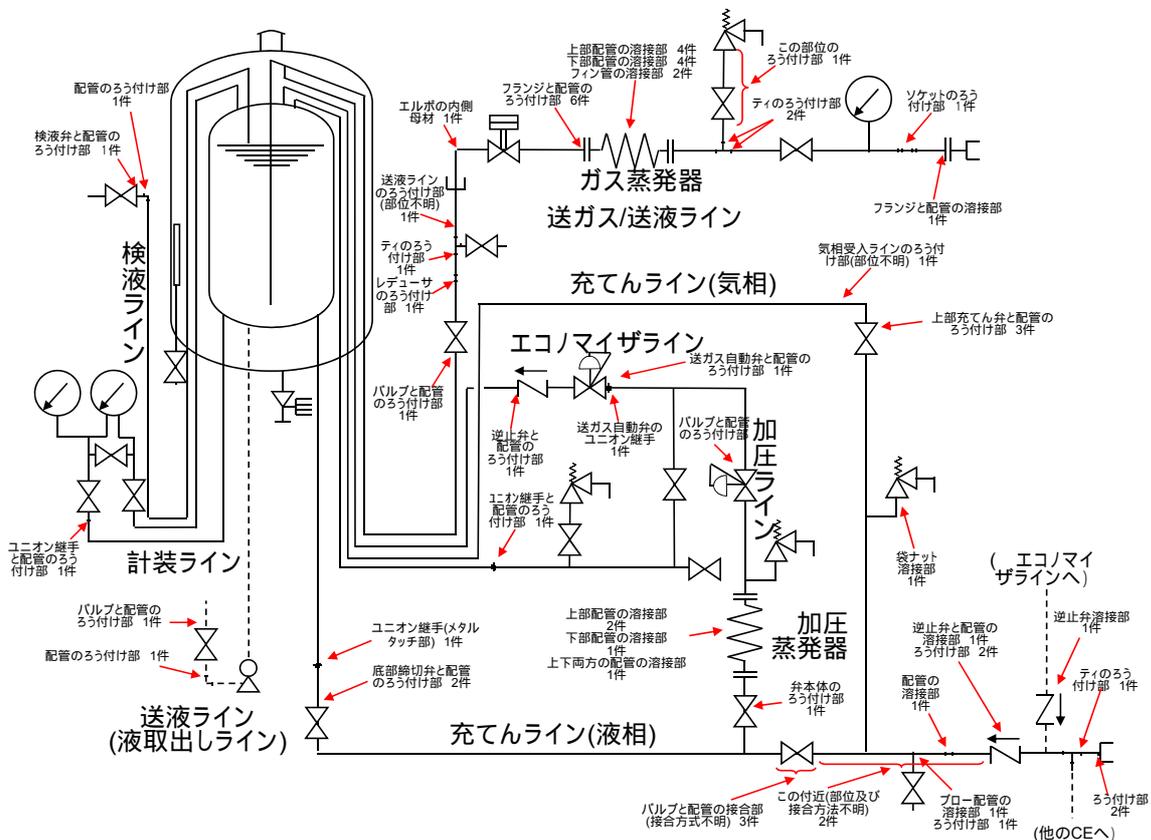


図 3 CE 設備における疲労事故の発生部位

3.1 配管ラインに関する注意事項

(1) 受入ラインに関する注意事項

受入ラインでは、タンクローリーからの受入時には低温の液化ガスが流れ、受入時以外には常温となる。受入ラインの部材は、低温時は収縮して拘束の引張応力を受け、常温時は膨張して拘束の圧縮応力を受けるため、温度変動に起因する疲労が発生する。また、液入口部でのホース着脱時に、受入ラインに力が加わらないように注意する必要がある。特

に、着脱時に過度の衝撃が加わる場合があり、それが受入ラインに伝わり、溶接部、ろう付け部に影響することが考えられる。また、受入時に液化ガスの脈動によって配管が振動する場合もあり、これも疲労の一因と考えられる。

配管の引き回し、固定方法の工夫などにより、低温の液化ガスが流れた場合の疲労の原因となる熱変形の拘束及び振動の軽減

タンクローリーのホースの着脱時に過度な衝撃が加わらないように注意

表 1 事故事例

事故名称	年月日	物質名	業種	事故概要
充てんチャックスリーブからのガスの漏えい	2009/10/6	アルゴン	機械	液化アルゴンをローリーからCEへ受入作業中に、ローリー運転手が受入配管において漏えいを発見した。工場保安主任者が確認したところ、ガスパーズ(圧力0.4MPa)では漏えいが確認できなかったが、液の受入作業(液圧1.4MPa)において、充てんチャックスリーブのろう付け部直近から、液化アルゴンの漏えいが目視で確認された。漏えい箇所を蛍光浸透探傷剤で検査したところ、銅管の割れでなく、ろう付け部の割れであった。原因は、充てんチャックスリーブと銅管のろう付け部が、ホース着脱時の振動により疲労した結果と推定される。今後は、銅管をSUS管に変更し、振動の大きい箇所に配管サポートを設置することとした。

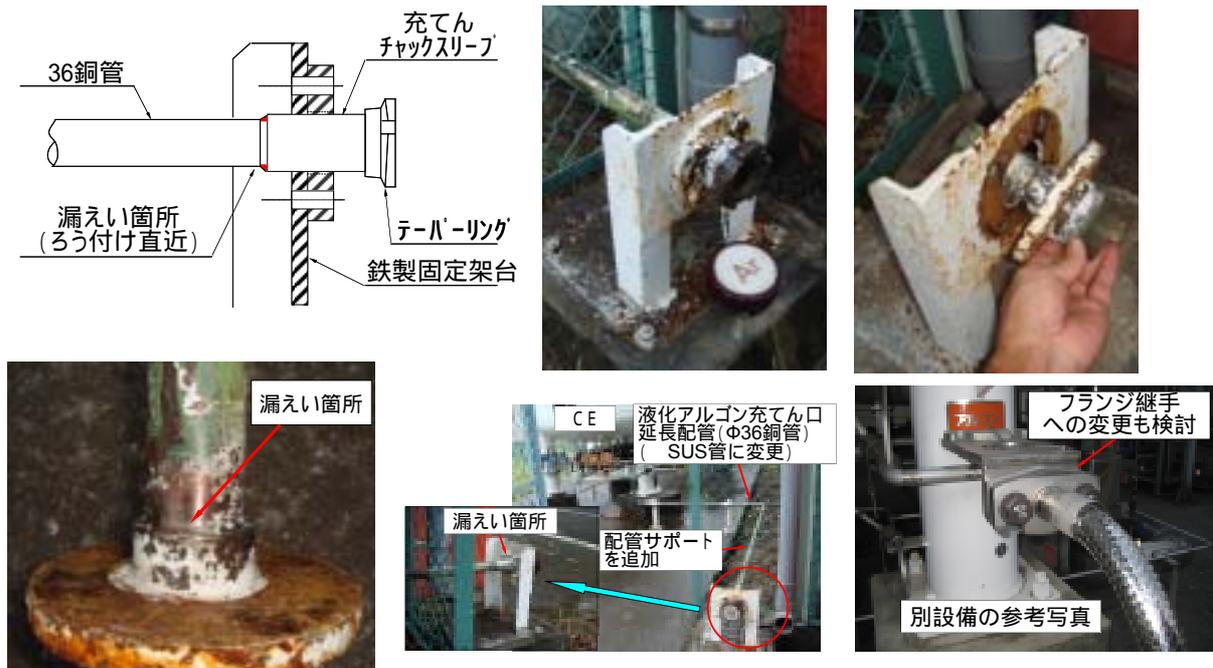


写真 1 受入ラインの事例

(2)送ガス/送液ラインに関する注意事項

送ガス/送液ラインでは、使用時及び停止時において、低温から常温の温度変動が発生し、それに起因する配管の収縮、膨張の繰り返しにより、ろう付け部などに疲労が発生する。特に、間欠運転の場合は、繰り返し数が多くなり、疲労に対する影響が大きいと考えられる。

なお、漏えい部位は配管のろう付け部が主であるが、母材部(エルボの内側)に割れが発生した事例が1件あった。母材部も疲労で割れることがあり、注意が必要である。

配管の引き回し、固定方法の工夫などにより、低温の液化ガスが流れた場合の疲労

の原因となる熱変形の拘束及び振動の軽減

定期自主検査、日常点検などで、溶接部、ろう付け部のほか、母材部も注意

送ガス/送液ラインの事例 : ろう付け部

表2 事故事例

事故名称	年月日	物質名	業種	事故概要
蒸発器入口 接続部から のガスの漏えい	2009/8/19	窒素	一般 化学	化学工場において、窒素ガス供給設備の定期自主検査の際、蒸発器入口の送液ラインにあるろう付け部より、ガスが漏えいしていることを発見した。原因は、当該設備は設置後15年以上経過しており、経年劣化による結果と推定される。



写真2 送ガス/送液ラインの事例(ろう付け部)

送ガス/送液ラインの事例 : 母材部(エルボ)の割れ

表3 事故事例

事故名称	年月日	物質名	業種	事故概要
送液配管の エルボ継手 からのガスの 漏えい	2009/4/14	窒素	その 他(病 院)	液化窒素製造設備(コールドエバポレータ)の現地連絡配管の継手部分にき裂が発生し、液化窒素が漏えいした。原因は、温度変化により配管が伸縮を繰り返し、継手部分に応力が集中したと推定される。今後は、配管サポートの支持方法を変更し、温度変化による配管伸縮を妨げない構造とすることとした。

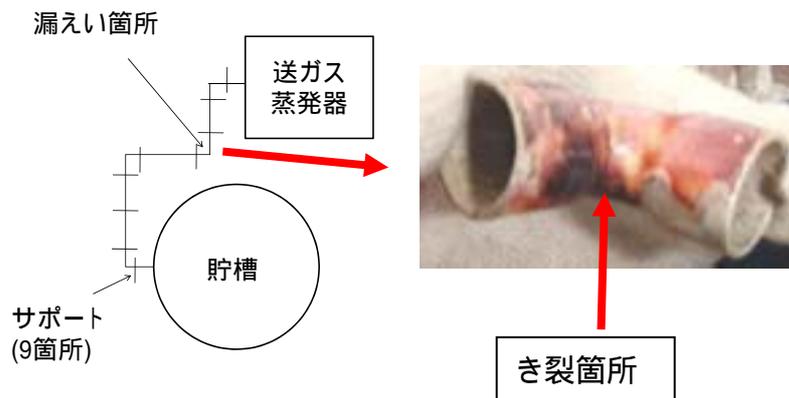


写真3 送ガス/送液ラインの事例(エルボ)

(3)エコマイザラインに関する注意事項

戻りガス系統でも、運転中に低温のガスが流れることにより配管が収縮し、流れが停止すると常温に戻って膨張するため、温度変動に起因する疲労が発生する。なお、以下の事

例はユニオン継手の溶接部からの漏えいであるが、ユニオン継手はナットを締め込む際に発生する引張応力、温度変動による熱応力、取付配管の角度の不適合又は当たり面の不均一に起因する曲げ応力などが発生することに、注意が必要である。これらの応力により、差込スリーブのろう付け部などからの漏えい事故が数件報告されている。構造上可能であれば、ユニオン継手よりも溶接継手が望ましい。

表 4 事故事例

事故名称	年月日	物質名	業種	事故概要
ユニオン継手 ろう付け部から のガスの漏えい	2008/10/18	酸素	その他(病院)	病院に設置された液化酸素CEのガス戻り系統の外部配管の外槽との貫通部である管板ユニオン差込スリーブろう付け部の配管側において、酸素の漏えいが発生した。設置後8年が経過している設備のため、原因は、経年劣化による配管の割れ、又は冷ガスが通る系統であるため、その温度差による熱膨張、収縮に起因する熱変形で生じた応力により、ろう付け部に割れが発生したためと推測される。再発防止策として、病院内二次側配管の圧力の監視強化、日常点検での漏れ箇所の目視観察、月1回以上の石鹸水によるバルブ、継手などの漏れ試験実施、予備酸素容器切替え体制の構築を実施することとした。



写真 4 エコノマイザラインの事例

(4) 検液ラインに関する注意事項

検液ラインは、受入ラインと同様、受入作業に起因する温度変動で疲労が発生するが、運転時は使用されないラインでもあり、点検時に不具合が見過ごされる懸念がある。実際には、漏えい事故が数件報告されているので、注意が必要である。

表 5 事故事例

事故名称	年月日	物質名	業種	事故概要
検液弁取付 け部などから のガスの漏えい	2008/3/5	酸素、 窒素、 アルゴン	充てん所	充てん所において、定期自主検査を行っていたところ、3箇所から微少な漏えいが発見された。液化酸素製造設備のうち、CEへのローリー受入の際に、過充てん防止のために使用する検液弁のろう付け部より、微少漏えいが確認された。また、液化窒素製造設備において、LGC容器への充てんラインの液取出予備弁のボンネット部より、微少漏えいが確認された。さらに、液化アルゴン製造設備のうち、CEへのローリー受入ラインの上部充てん弁のろう付け部より微少漏えいが確認された。窒素の漏えいした弁は破断したパッキンの交換を実施、酸素とアルゴンの漏えいした弁については、ろう付け部の補修を実施した。原因としては、運転中、停止中の温度差に起因する繰返し応力による疲労と見られる。

(5)弁本体の事例

配管接合部だけではなく、その構造上、弁本体の異材をろう付けで取り付けした部位から漏えいする場合がある。配管ラインでこの事例が確認されたので、以下に記載する。

弁本体においても、配管と同様、温度変動に起因する疲労が発生しており、注意が必要である。

弁本体のろう付け部も疲労が発生しているため、配管と同様に注意

表 6 事件事例

事故名称	年月日	物質名	業種	事故概要
加圧弁からのガスの漏えい	2008/7/17	酸素	その他(病院)	定期自主検査時に、貯槽加圧弁のろう付け部より微少のガス漏れを確認した。当該弁の不良部品について、同等品と交換した。原因は、経年劣化によると推定される。

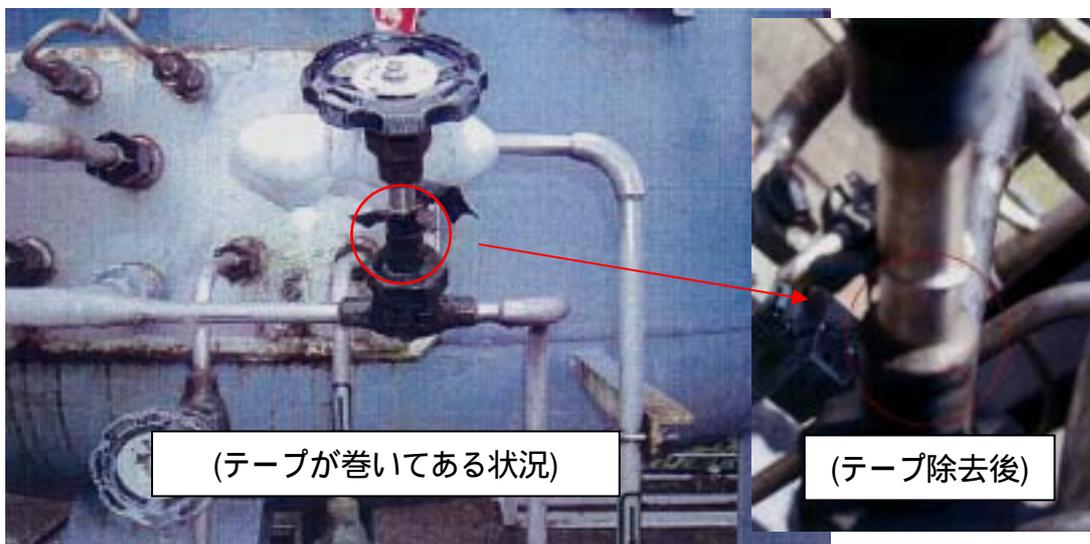


写真 5 弁本体のろう付け部の事例

3.2 蒸発器

蒸発器は、送ガス蒸発器及び加圧蒸発器に分類される。3.3.1 で述べた配管ラインとは構造が異なるが、ヘッダー、配管などの部材が受ける応力は、配管ラインよりも厳しい場合がある。

- 各配管はフィンで固定され、またヘッダーで分岐した配管が再び合流することにより各配管は固定されるので、熱応力が緩和されにくい構造となっている。さらに、蒸発器のヘッダー配管は溶接により製作されているが、溶接部の止端、裏波は、形状によっては応力が集中し、疲労が発生し易い部位となる。
- ヘッダーで各配管に、低温の液化ガスが均等に流れる設計構造となっているが、実際は配管抵抗などにより流れの不均一が発生していると考えられる。また、液化ガスの気化、太陽熱、気流などにより、各配管の温度分布は不均一となり、温度分布の変動による熱応力の繰返しにより疲労が発生すると考えられる。間欠運転の場合は、疲労への影響も大きくなる。
- 霜の付着が多くなると、氷の塊へ成長し、体積が大きくなるとフィン管部分を圧迫し、応力が発生する場合がある。また、氷が成長すれば重量も増加し、特にフィン管の下部、ヘッダーに過大な力が加わるために注意が必要である。また、着氷をハンマーな

どにより除去することも、設備に過大な力が加わる可能性がある。

上記のような厳しい条件のうち、(a)及び(b)は設計時と製作時に考慮はなされているが、長期間の使用により疲労し、漏えいする事故が多く、注意が必要である。

蒸発器のすべての溶接部は、入念な点検が必要
着氷に注意

(1)送ガス蒸発器の事例

表7 事故事例

事故名称	年月日	物質名	業種	事故概要
送ガス蒸発器からのガスの漏えい	2007/1/25	酸素	その他(造船所)	作業終了後の日常点検時に点検担当者が異音に気付き調査したところ、酸素送ガス蒸発器の上部配管溶接部におけるガス漏れが発見された。漏えい箇所は3箇所であった。なお、他の設備の漏えい及び人的被害はなかった。当該設備は、設置後約30年が経過しており、長年にわたる熱収縮の繰返しにより配管溶接部に引張応力が加わり、溶接部止端に割れが生じたことによりガス漏れが発生したと見られる。当該箇所は、溶接補修が実施されることとなった。その後、送ガス蒸発器を更新するとともに2基に増設した。

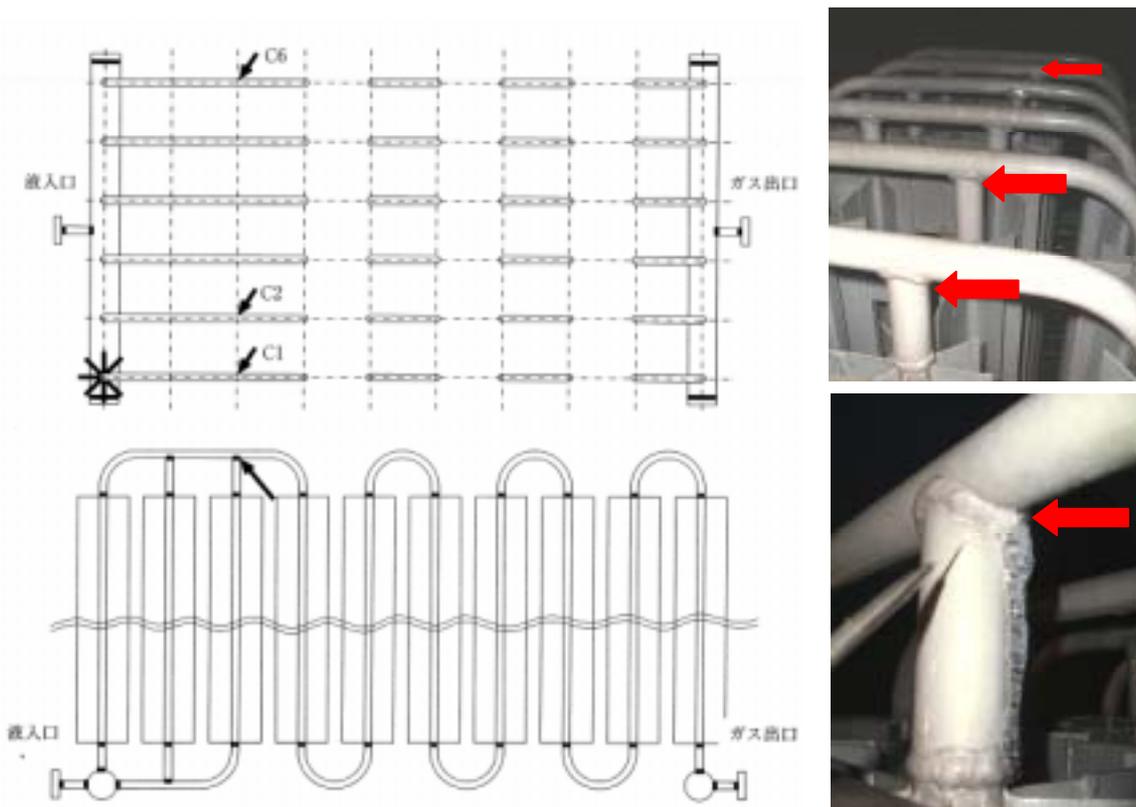


写真6 送ガス蒸発器の事例 : 上部配管の溶接部

(2)送ガス蒸発器の事例

表 8 事故事例

事故名称	年月日	物質名	業種	事故概要
送ガス蒸発器からの漏えい	2009/8/12	酸素	鉄工所	鉄工所において、酸素CEの附属設備を点検中に、異音に気付き周辺を調査したところ、送ガス蒸発器からの漏えいを確認した。漏えい箇所は、送ガス蒸発器入口付近のフィン配管の接合部で、約5mm程度のき裂が発生していた。原因は、フィン配管の接合部分が熱応力などの影響により劣化したと推定される。今後は、類似箇所についても浸透探傷試験、肉厚測定を実施し、減肉などの異常がないか確認することとする。

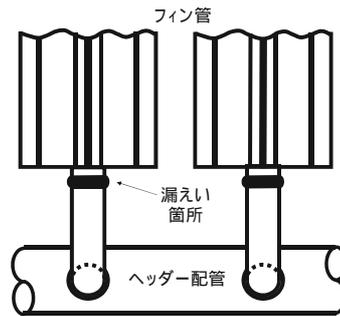


図 4 送ガス蒸発器の事例 :フィン管下部の溶接部(イメージ)

(3)送ガス蒸発器の事例 (温水式蒸発器)

表 9 事故事例

事故名称	年月日	物質名	業種	事故概要
窒素ガス充てん設備の蒸発器からの漏えい	2009/11/13	窒素	充填所	事業所内に設置してある、窒素ガス充てん設備の保安検査実施中に、温水式蒸発器の銅管から窒素ガスが漏えいしていることを発見した。この設備は設置後32年経過しており、経年劣化により銅管ろう付け部に、ピンホールが発生したと推定される。



写真 7 送ガス蒸発器の事例 :温水蒸発器のヘッダー

(4) 加圧蒸発器の事例

表 10 事故事例

事故名称	年月日	物質名	業種	事故概要
加圧蒸発器からのガスの漏えい	2007/4/13	窒素	機械	液化窒素設備の自主保安検査を実施していたところ、漏えい検査により加圧蒸発器溶接部より微量のガスが漏えいしているのが確認された(8箇所)。漏えいが確認された場所は、加圧蒸発器の溶接部分であり、設置後25年が経過していることから、原因は経年劣化及び長年にわたり液化窒素と外気との温度差による金属の膨張、収縮が繰返されたことによる部分劣化(疲労)と推定される。



写真 8 加圧蒸発器の事例