

重油直接脱硫装置配管の水素侵食による破裂

【1982年3月31日、茨城県 鹿島市】

橋本哲之祐（元千代田化工建設株）

小林英男（東京工業大学大学院 理工学研究科）

12年間稼動してきた脱硫装置の運転中に、反応塔出口から高圧分離槽へのステンレス鋼主配管(335℃、140kgf/cm²=水素分圧 120kgf/cm²)につなぎ込まれていた炭素鋼製の安全弁下流側配管(バイパス配管)からプロセス流体が漏れ出した後、破裂し、火災が発生した(事故現場の様子：図1、図2、図3参照)。運転員5名死亡、3名重傷、同装置は甚大な損害を蒙った。

1. 機器

重油直接脱硫装置

2. 事象

破裂した炭素鋼製の安全弁下流側配管(6B、STPT38)は、その温度を下げるために主配管(20B、SUS321)に水平に設けられた長さ1,300mmの分岐管(6B、SUS321)に、フランジ継手で接続されたバイパス配管である(図4参照)。

破裂は、フランジ溶接線から36mm離れた位置から管軸方向に約1.2mに亘って起こっていた。金属組織検査などの結果、炭素鋼配管のフランジ溶接線から約5.5mの部分は管内面から水素侵食を受けて、脱炭と粒界マイクロ割れを起こしていた。破裂部付近ではマイクロ割れが管肉厚全域に亘って網目状に拡がっており(図5参照)、この割れを通して最初の漏出が起こったとみられる(図6参照)。水素侵食の安全境界を示すネルソン線図(API 941)から判断すると、この損傷部は長時間に亘って230℃以上に保たれていたと推定されるが、主配管の運転条件(335℃、水素分圧120kgf/cm²)と分岐管の存在を考えると、この炭素鋼配管の温度上昇メカニズムの確定的な結論は得られなかった。可能性の強い推論として、脱硫反応の促進のために加えられていた水蒸気が、運転時は流体が流れていない行止まり支管部で凝縮して水となり、主配管に逆流することで損傷部分への高温流体の流入を誘発して温度上昇した(ヒートパイプ現象)、というメカニズムが考えられた。

3. 経過

圧力異常を検知後、運転詰め所より8人が現場確認のため漏出現場に集まった。現場にて漏出発見から4～5分という短い時間で破裂したため、大きな被害となった。

4. 原因

設計時には低温に保持されると考えていた行止まり支管部(炭素鋼)の温度が、反応系に加えられていた水蒸気凝縮に伴うヒートパイプ現象が原因で230℃以上の高温になっていたため、炭素鋼

配管が水素侵食を受けて 12 年間稼動後にプロセス流体の漏出が起こった。

5. 対処

当面、再発防止のため、構造上、並びに運転上の改善策を検討する。また、定期的な点検についてマニュアルと体制の見直しを行う。類似設備に対しても、設備の製作時に高温とならないため水素侵食を起こす可能性がないと判断した部位であっても、実装置で異常に温度上昇を起こしている部位がないかどうかを現場で確認する。

6. 対策

爆発に伴う人的災害の防止のためには、高温、高圧の水素を扱う設備における漏洩発見時の緊急措置について、作業標準の見直し、適切な緊急措置ができるような教育、訓練の充実を図る。

7. 知識化

高温高圧水素流体を扱う機器では、当然、水素侵食を考慮した材料選定、構造設計が行われているが、分岐管等においては設計時、運転時における温度上昇の可能性の検討と確認が重要である。行止まり配管部の温度上昇(ヒートパイプ現象)を設計時には予測することは難しかったと考えられるが、不確定要素があれば余裕を多くみるなどの何らかの対策が必要であろう。例えば、運転開始後の管壁温度の実測も有効である。

8. 後日談

国内で供用されている同様の脱硫装置の類似部位に対して、同じような異常温度上昇を起こしていないかどうかの総点検が各事業所で実施された。また、当該部位に対して水素侵食の懸念がないかどうかの重点的な点検が実施された。また、プロセス的に配管設計の見直しが行われた。一方、ネルソン線図の改訂が API(American Petroleum Institute)において逐次実施され、その信頼性の向上が図られている。折から、本事故に前後して、配管等の水素侵食の懸念に対し、国内の関連する諸事業会社、検査会社の協力下で配管外部から非破壊的に検査する方法が精力的に検討され、現場で実施されるなど、この分野での検査技術への関心が高まった。

なお、損傷箇所の炭素鋼部位について、ネルソン線図を使用して水素分圧から温度 230℃を推定している。ネルソン線図は水素侵食の試験研究、現場における事故事例等のデータを元に限界条件を設定しており、現状ではその精度は十分信頼性のあるものとして設計、運転に反映されている。今後、事例等のデータが追加されてその精度がさらに高められることが期待されよう。本件での炭素鋼部位の温度推定にはネルソン線図が利用され、高温での保持時間は確定されていないが、230℃以上に達していたとの判断の妥当性は否定できない。

また、安全弁の吹き出し先は、高温高圧部ではなく低温部、または通常行われているようにポンプの吸い込み側が望ましいとの見方もある。

9. 主シナリオ

1. 未知

2. 未知の事象発生

3. 行止り支管のヒートパイプ現象

4. 計画・設計

5. 計画不良

6. バイパス配管の温度上昇を予測せず

7. バイパス配管への通常保温適用

8. 破損

9. 破壊・損傷

10. バイパス配管の水素侵食とプロセス流体の漏出

11. 破損

12. 大規模破損

13. バイパス配管の破裂

14. 水素を含むプロセス流体の大量噴出

15. 誤判断

16. 状況に対する誤判断

17. 漏出事象への対応

18. 二次災害

19. 損壊

20. 火災

21. 身体的被害

22. 死亡

23. 事故死

24. 組織の損失

25. 経済的損失

26. 装置の損害

<参考文献>

- (1) 高圧ガス保安協会: 鹿島石油(株)鹿島製油所重油直接脱硫装置爆発・火災事故調査報告書
(1982)

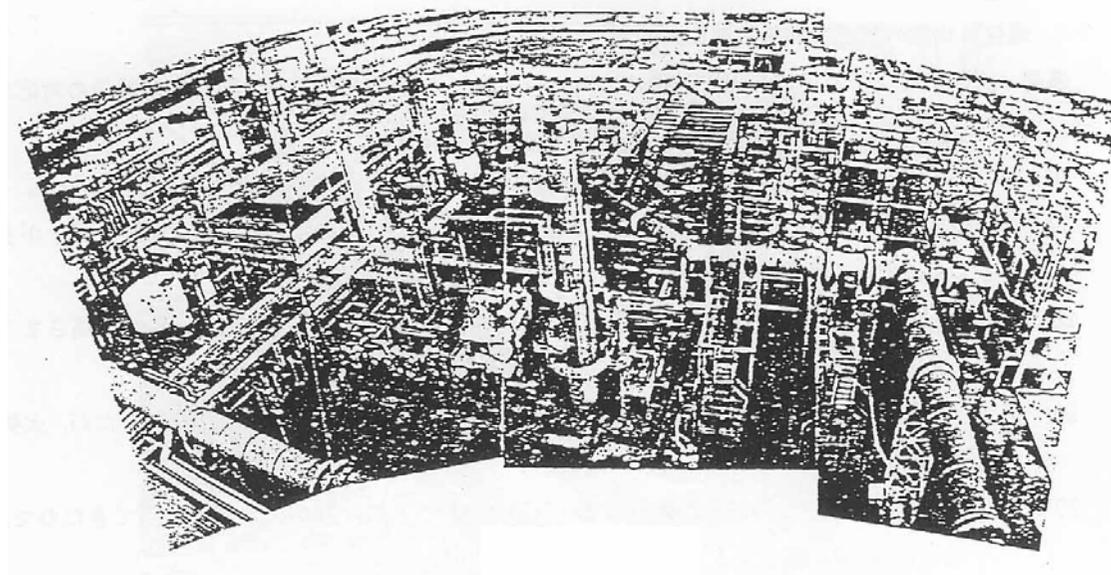


図1 事故現場



図 2 安全弁下流配管の破口部

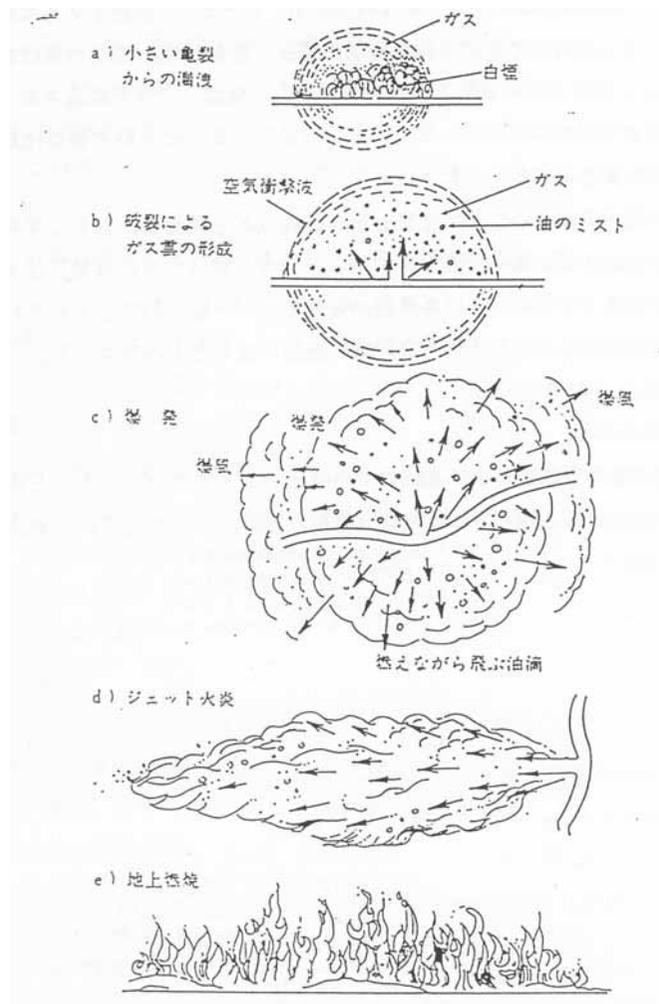


図3 火災・爆発の経過説明図

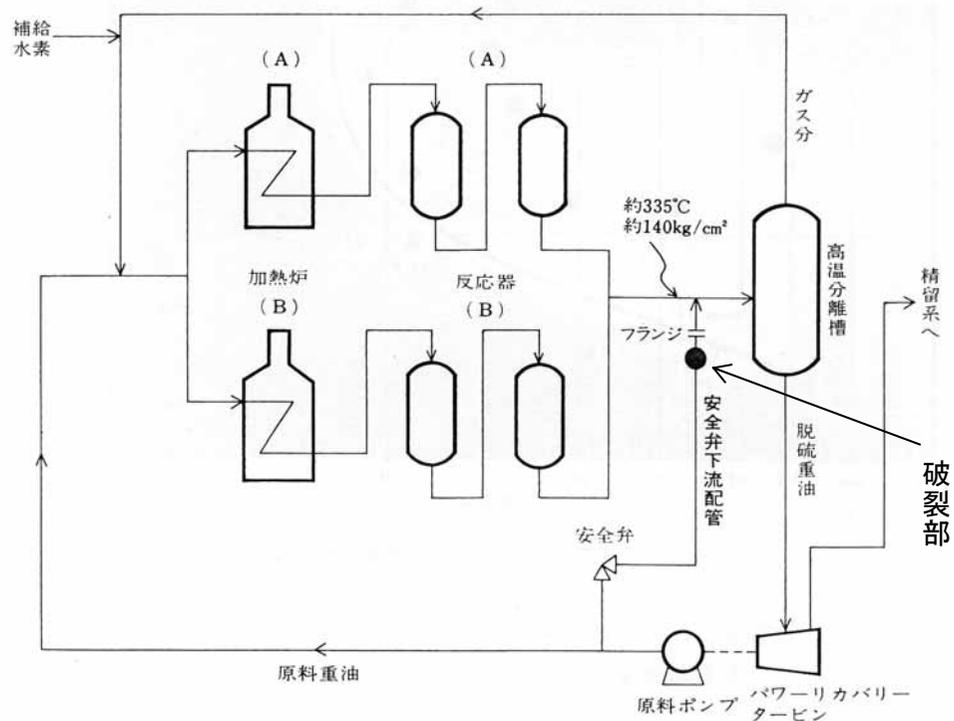


図4 重油直接脱硫装置フローシートと破裂部

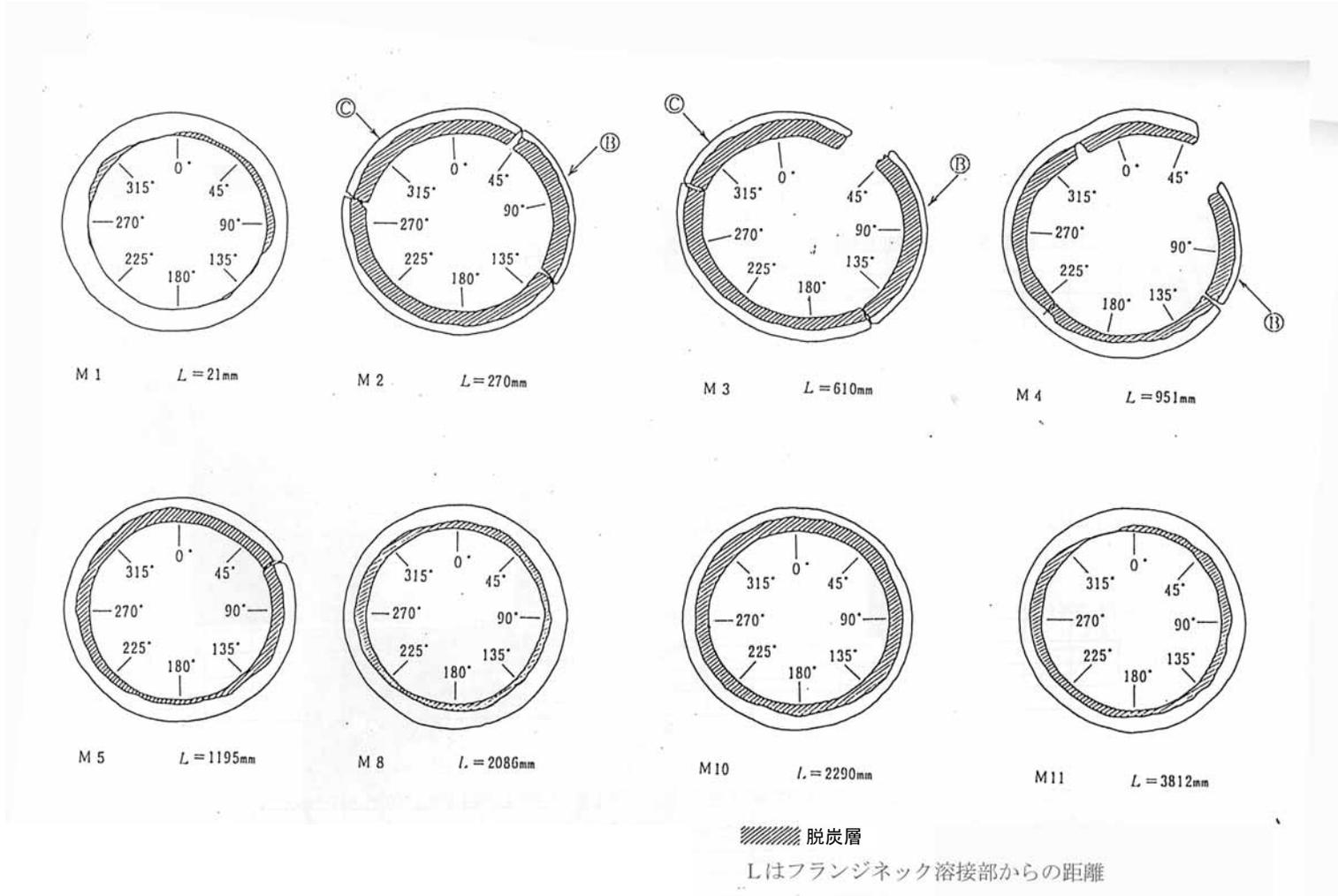


図5 管断面の脱炭部の分布

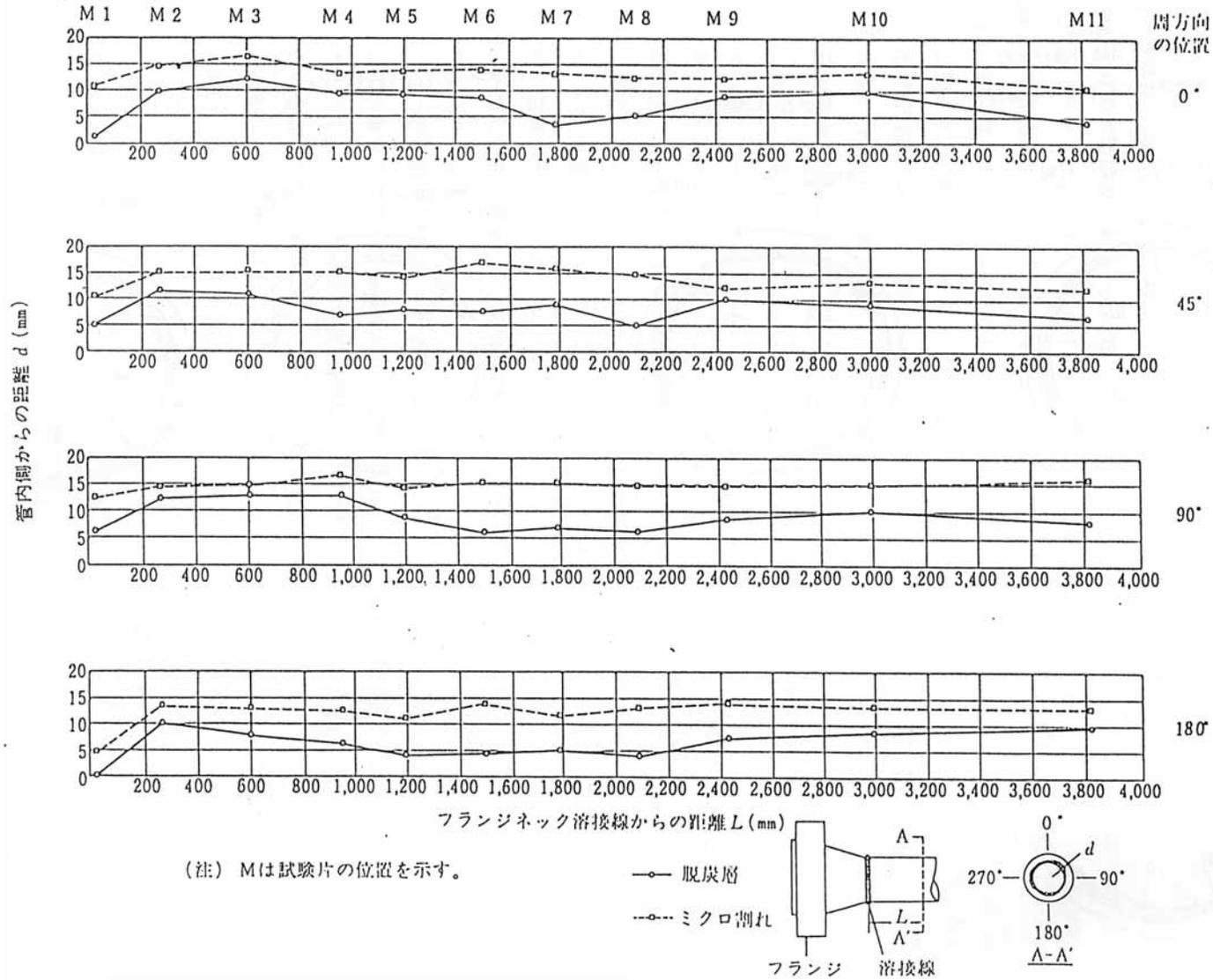


図6 脱炭層およびマイクロ割れの管軸方向分布