

AE 法によるタンクの腐食診断

日本フィジカルアコースティクス株式会社
西本重人

1. はじめに

現在稼働中の石油・石油化学プラントの大部分は高度成長時代に建設され、すでに稼働開始後 30 年を越えたものも多く、産業基盤となるこれらの構造物の、効率的で安全性の高い維持・管理技術確立の必要性が高まりつつある。このような状況下、欧米各国では、タンク底板の状態評価に AE を適用しようとする試みが 1980 年代末頃から頻繁に行われるようになり、円筒型貯蔵タンクの底板の腐食損傷診断に関するデータベースの構築¹⁾が進められ、AE 法が維持・管理経費節約の手段として、極めて有効であることが示されている²⁾。

本稿では、AE 法による腐食診断の原理を説明するとともに、世界における AE 試験適用の現状について実例をあげて報告する。

2. 歴史的経緯

タンク底板の状態評価に AE 試験を適用しようとする試みは、欧米各国で 1980 年代末頃よりかなり頻繁に行われ、特にイギリス/オランダを中心とするグループにおいて試験法、評価法が発達した。1989 年、イギリスの Physical Acoustics Ltd.(PAL)社は、メジャー系石油会社の要請により、タンク底板の状態を評価する手法として、AE 試験の適用を試みた。この結果、適切な AE センサと計測法を用いれば、底板の腐食進行に伴い発生する微弱な AE 信号を検出できること、また採取された AE データは、底板の腐食損傷状態と強い相関を持つことが明らかになった。この知見の公表は大きな反響を呼び、1990 年代半ばまでには、石油メジャー各社、また大手化学会社の数十社からなる AE ユーザーズグループが結成され、試験結果のデータベース化が精力的に行われるようになった。1998 年には、シェル社、ダウケミカル社などが行った 157 の試験事例からなるデータベースを基に、タンク開放前に実施された AE 試験結果と、開放後の磁束漏洩試験(MFL)による底板全面検査結果の照合が行われ³⁾、両者には非常に良好な相関のあることが確認された。以後試験実施数は世界各国で急速に増加することになった。

2000-2001 年度に実施された AE 試験数はイギリス/オランダで 250 件、フランス 230 件、ドイツ 60~80 件、アメリカ 200 件、ブラジル 150 件、その他 100 件程度と報告されている。このうちアメリカでは環境規制の厳しい州において、主として重大なリーク発生事故を未然に防ぐ目的で実施されている。このように、現時点において、世界各国で年間 1000 件程度の試験が行われている。

3. AE の発生原理

腐食進行過程における AE の発生原理についてはいくつか研究報告がある⁴⁾。それらによれば、腐食、応力腐食割れ (SCC)、腐食疲労(CF)などの腐食損傷過程で AE が発生する原因は クラック先端の塑性領域内で生ずる変形、変態、介在物の割れ、クラック進展によるへき開などの微視割れ、厚い酸化皮膜の破壊やはく離、カソード反応による水素ガス発生、などであるとしている(図 1)。

このうち、タンク底板の腐食損傷診断で検出される AE 信号の発生源は、厚い酸化物(腐食生

成物)の破壊やはく離であるとされている。しかしながら、まだ不明な点もあり、AE発生源については、複数の機関で基礎研究が進められ、その特徴が明らかにされようとしている^{5)~7)}。

4. 試験方法

タンクにおける AE 試験は、底板の腐食損傷状態と発生した AE データの相関を求めたデータベースを基本としている。したがって、その試験方法は、データベース構築において行われた試験手順、試験条件にしたがい厳密に規定されている。以下、試験方法の概要を示す。

まず、使用する AE センサは、プリアンプ内蔵型を使用し、その周波数帯域は 30kHz 共振型を使用する。この AE センサを底板から 0.8~1.5m の高さの側板上に 3 の倍数となる数だけ、円周方向に対して等間隔に配置し(図 2)、液中を伝播してくる AE 信号を検出する。使用する AE センサの個数は、直径 10m のタンクで 3 個、50m で 15 個、また 80m 程度のタンクで 21 個を設置する。AE センサ設置後は、シャープペンシル法等によって、取付感度に差がないか確認を行う。計測前には、外部雑音が入らないように、対象となるタンクに接続するパイプのバルブを閉じて外部から完全に遮断し、内部雑音(内容物の移動等)がなくなるまで十分に静置する。欧米で開発された試験手順によれば、良好な計測を行うのに必要な受け払い終了後の静置時間は、直径 10m 程度の製品タンクで 6 時間、直径 30m を越える原油タンクで 24 時間以上としている。計測は、1 時間を目安に実施するが、特に雨、風などの環境雑音が大きき場合には、計測を停止し、総合時間として 1 時間を計測するものとする。雨については基本的には少量でも計測は不可能であり、風については風速が 2m~2.5m/秒を越えると、タンクで発生する機械的雑音により通常の AE 計測が困難になることが報告されている。

計測された AE 信号は、ヒット数(信号検出数)、振幅値、相対エネルギーなどを評価し、AE 発生源の位置情報を得るために位置標定機能を用いる。

5. 適用事例²⁾

5.1 模擬試験

実際のタンクで AE が検出できることを確認するために、直径 54m の製品タンクの底板に亜鉛犠牲電極を取り付け、AE の検出を試みた。図 3 に AE 信号の位置標定結果を示す。円板で示される底板において、同心円状に配置された電極の位置から集中的に AE 信号の発生しているのが観察される。前述のように、実際のタンクにおける AE 発生源は底板に付着した厚い腐食生成物の割れ、あるいははく離であると考えられる一方、既往の研究結果⁴⁾によれば、腐食過程でアノード溶解により検出可能な AE 信号は発生しないが、カソード反応で生ずる水素気泡は、検出可能な AE 信号を発生させることが報告されている。この事例で AE 発生源について述べられていないので、どちらの発生原因が不明であるが、亜鉛電極位置に AE 信号が集中的に発生していることから、腐食に関連したものであることは間違いないと考えられる。このように、底板の腐食進行に伴い発生した AE を側板に取り付けた AE センサで検出し、その位置を同定できることが示され、本試験法の有効性を確認できる。

5.2 適用事例

図 4 に直径 67m の原油タンクへの適用例を示す。検出された AE イベント(位置標定が可能な AE 信号セット)のエネルギーが、Z 軸方向に表示されており、アニュラー部に大きな AE 活動度が観察され、この部分の腐食損傷の大きいことが予想される。タンク開放後の磁束漏洩試験(MFL)により、アニュラー部に著しい減肉の存在することが示された。底板には GFRP コーティングが施してあり、付着状態は比較的良好であることから、腐食は裏面で生じていると考えられた。開放検査時にこの部分を切り出し、実際に検査すると(図 5)、裏面部に板厚の 67%にいたる減肉が生じ、激しい裏面腐食の存在することが確認された。

図6に、ディーゼル油タンクへの適用事例を示す。タンクの中央付近に非常に大きなAEの発生が確認できる。この位置には、開放検査の結果、タンクの中央付近にピンホール(直径1mm)が確認された。このタンクの底板内面は、エポキシ樹脂でコーティングが施されていたが、その一部が破損し、そこから激しい局部腐食が発生してピンホールを生じ、リーク発生に至った。このように、AE法でピンホールからのリーク音を容易に検出し、またそのおよその位置を同定することが可能である。

6. 判定基準

これまで欧州で実施された3000例を越す試験例で構築されたデータベースを基に、前述のAEユーザーズグループにより、試験実施、およびデータ評価・判定手順が定められている。これに従い、採取されたAEデータに対して下記に示されるA,B,C,D,Eのグレード分けが行われている。

A：腐食損傷は存在しないと考えられる。

B：80%程度の確率で腐食損傷は存在しない。

C：60%以上の確率で腐食損傷が存在しうる。

D：85%程度の確率で軽微なものを含め腐食損傷が存在しうる。

E：90%程度の確率で腐食損傷が存在しうる。またこの時、60%以上の確率で大規模な補修あるいは底板の一部交換などを必要とする重大な損傷が存在しうる。

図8に、157基のタンクについてAE試験で得たグレード分けの結果と、タンク開放後に検証された損傷度との対応を示す²⁾³⁾。図中、灰色で示される棒グラフ(FU1/2)は、開放時に全く補修を必要としなかった事例を、黒塗りのグラフ(FU3)は軽微な補修を必要とした事例を、また白抜きのグラフ(FU4)は、大規模な補修、あるいは底板の一部交換など重大な損傷の存在した事例を示す。ここで、グレードAと判定された場合には補修の必要な事例は全く認められず、またグレードBにおいても、その80%程度は補修を必要としなかった。一方、グレードがC,D,Eと変化するにつれ、補修の必要比率は高まり、グレードEにおいては、90%程度が補修を必要としていた。したがって、AE試験によるグレード分けは、底板の損傷状態とよく相関し、実用的評価を実施する際に有効な情報を与えることが理解される。

実際の判定には、上記に示した通常のAE解析データ(Overall)によるグレードと、信号継続時間が長く大きなエネルギーを持つAE信号(Potential Leak Data(PLD)と定義)の評価で得たグレードが、組み合わせられて用いられる。表1に、その判定基準を示す。ここでと判定された場合、タンクは開放することなくそのまま操業を継続し、4年後に再度AE試験の実施を推奨している。またと判定された場合、操業を継続し、2年後に再度AE試験の実施を推奨している。一方、あるいはと判定された場合、開放検査を遅くとも半年あるいは1年以内に行うべき事を推奨している。欧米のメジャー系石油会社では、この判定基準に従ってメンテナンスを実施することが一般化され、開放検査期間を大幅に延長することが可能となった。これにより、維持・管理費を従来に比べ90%程度節約できるようになったと言われている。

7. おわりに

本稿で紹介した欧米で構築されたデータベースをそのまま適用するには、メンテナンスに対する考え方が欧米とは異なる点や、さらに法的規制などにより問題がある。現在、我国では存在するリスクを適切に評価し、装置の安全性、信頼性を高め、さらに経済効率を追求しながら検査の最適化を図るための手法として、RBI(Risk Based Inspection)が注目を浴び、自主保安を実行するための手段として、様々な分野で適用されようとしている。今後、規制緩和あるいは撤廃により、我国でもタンク底板の腐食損傷診断に対して、合理的にAE試験を活用することが大いに期待される。

参考文献

- 1) P.T.Cole: European and American Experience of Acoustic Emission Applications in the Chemical Industry, PAC Technical Report, (1996)
- 2) P.T.Cole and P.J.Van de Loo: Listen to your Storage Tanks to Improve Safety and Reduce Cost, Acoustic Emission - Beyond the Millennium, Kishi, T., Ohtsu, M., and Yuyama, S. editors, Elsevier, pp.169-178, (2000)
- 3) P. J. Van de Loo and S. N. Gautrey: Correlation of AE grading of storage tank floors and their follow-up inspection grading: report containing the underlying database, Results collated by Shell International Oil Products B.V. and Physical Acoustics Ltd., (1998)
- 4) 湯山茂徳、岸輝男、久松敬弘：すきま腐食 - SCC 発生の AE 法による検知とその解析法、鉄と鋼、第 68 巻、第 14 号、pp.2019-2028, (1982)
- 5) (社)日本高圧力技術協会、「経年劣化を考慮した長期備蓄タンクの診断・保全技術に関する調査研究委員会報告書」、平成 9 年度～平成 12 年度
- 6) (財)エンジニアリング振興協会、「製油所内貯蔵設備の信頼性評価技術 (AE 法による操業中タンクの底板腐食診断・評価技術) 成果報告書」、平成 13 年 3 月
- 7) 消防研究所研究資料第 52 号、「AE 法による石油タンク底部の腐食モニタリング技術に関する共同研究報告書」、平成 13 年 8 月

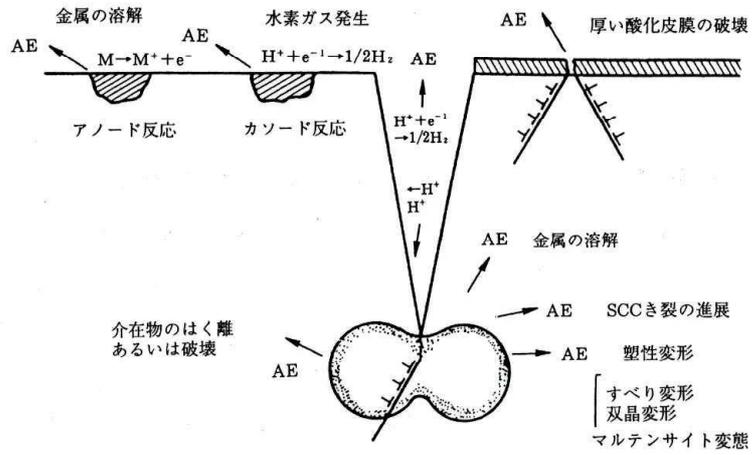


図1 腐食、SCCおよびCF過程におけるAE源の模式図



図2 AE センサの設置

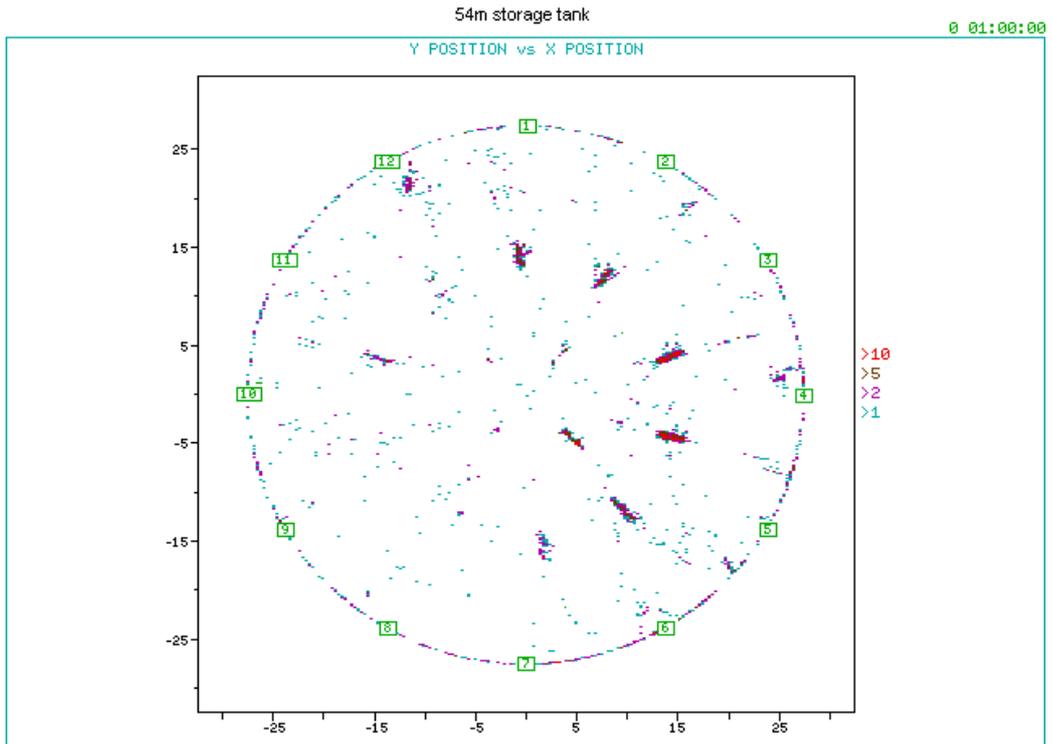


図3 亜鉛犠牲電極設置位置付近で検出された AE 集中発生源

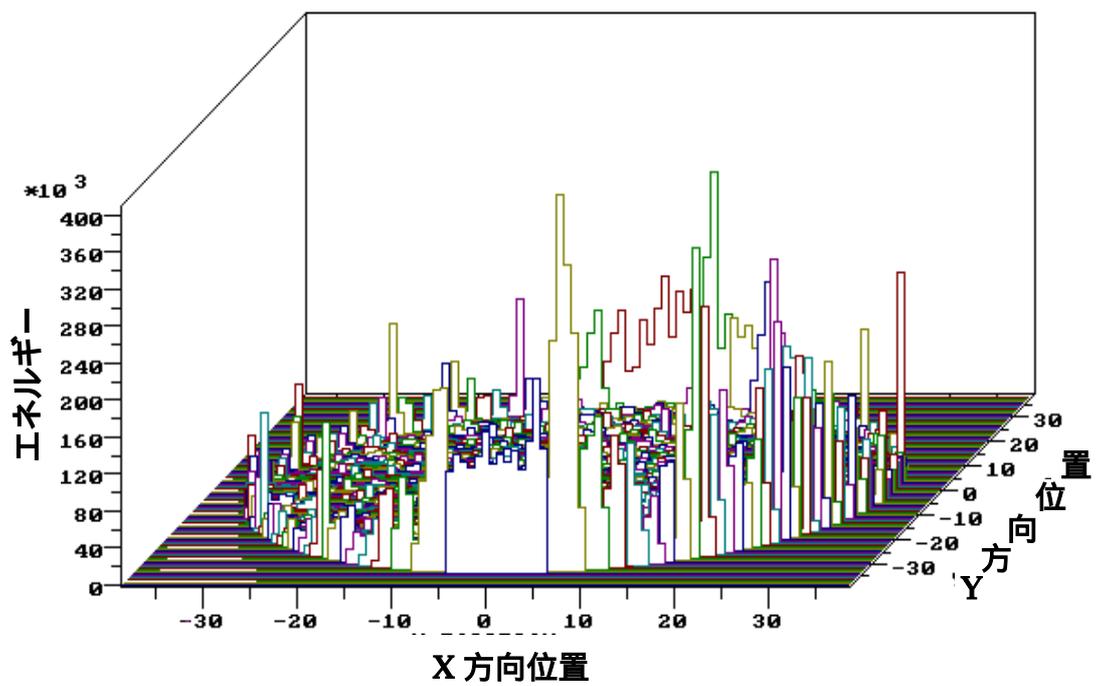


図4 直径 67m の原油タンクへの適用例

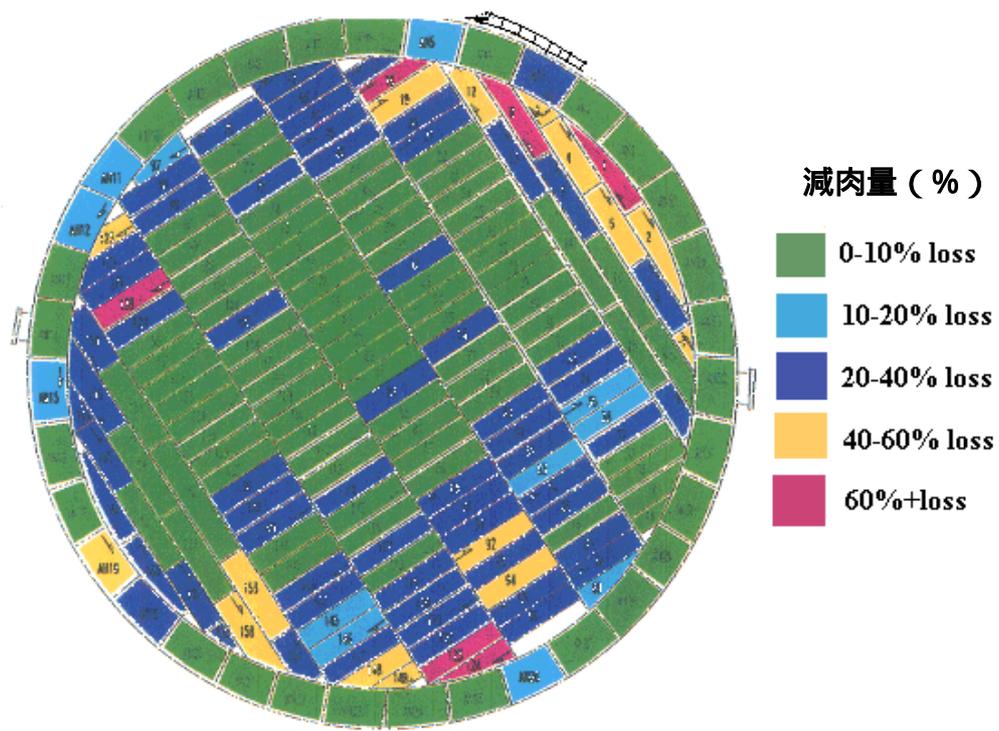


図5 直径67mの原油タンクへの適用例 (MFL結果)

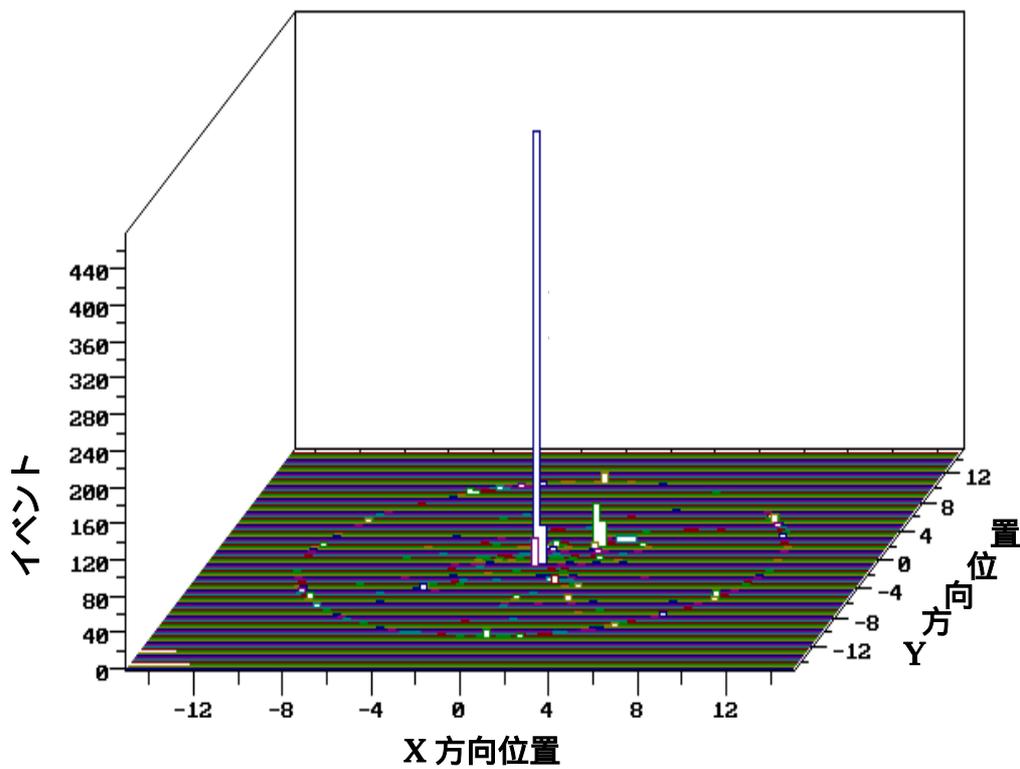


図6 ディーゼル油タンクへの適用例

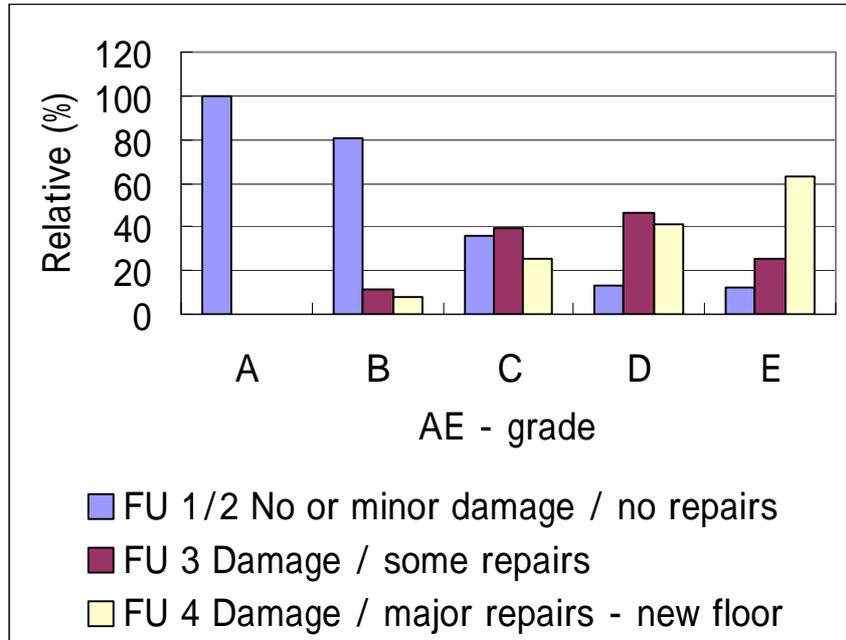


図7 AE試験結果のグレード分けとタンク解放後に検証された損傷度との対応

表1 損傷グレードの判定基準

"Overall" Grade	A	B	C	D	E	
"PLD"Grade	I	I	II	(n/a)	(n/a)	(n/a)=doesn't occur
A	I	I	II	(n/a)	(n/a)	I > ~ 4years
B	I	I	II	II	(n/a)	II > ~ 2years
C	II	II	III	III	III	III+IV>schedule inspection
D	II	III	III	IV	IV	
E	III	III	IV	IV	IV	