機械の損傷

機械の破壊事故 （上から－ミネアポリス高速道路崩落事故/腐食、自由の鐘/オーバロード、狩俣風力発電倒壊／強風

損傷の原因

機械装置が人為的なミス、従来の経験を超えた作動環境に置かれたことなどにより、正常な作動状態から逸脱して故障となり、人身事故など大事故にもなる。その要因・事象は多様で、多くの故障例を分析し、以後に反映することで機械技術の向上につなげる

設計不良－設計変更時の注意不足、同一部品を一段高い容量の機械に使用、設計基準の不完全、使用環境への配慮不足（例、腐食性雰囲気）、材料選択ミス、強度計算の誤り、熱処理その他の設計者の知識不足、これらの複合など

製造不良（含む、据付）－塑性加工（圧延のしわ傷、打ち傷、鋼塊の気泡巻き込み）、機械加工（切削加工面の傷）、熱処理条件の不良（温度／結晶粒の粗大化など、時間、冷却雰囲気の不適切による酸化・脱炭）、溶接欠陥（ブローホール、溶け込み不十分、残留応力、母材変質）、溶射不良、表面処理不良（酸洗い、メッキ不良－疲労強度低下）

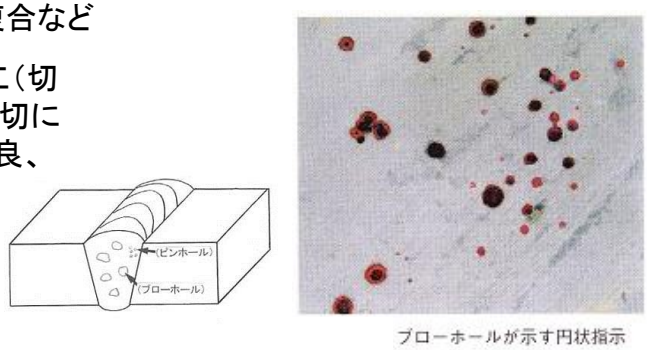

図48-1　ブローホール　⑩

材料の欠陥－溶融金属が凝固するときの介在物の偏析、ブローホール、収縮孔（ひけ巣）、化学成分の不均一（成分偏析）

操作ミス－マニュアルの不備、操作員の教育訓練不足（平常時、緊急時）、ルール無視（例、飲酒運転）

過大な機械的負荷－重量制限超過、定員オーバ、温度・圧力制限値オーバ

整備不良－整備期限内での整備不実施、整備時のボルト等の装着ミス（後日、部品の脱落を誘発する）、整備場の技量不足（クラックなどの見落とし）、異材の流用。例、高知空港ボンバルディア機胴体着陸（2007）

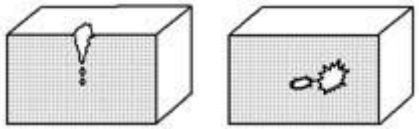

図48-2　外ひけ巣（左）と内ひけ巣（右）
（川重テクノロジー）

耐久性不足－耐久性は機械、部材の劣化に対する抵抗性。耐久性不足は保証期限到達前に性能低下、作動の不安定性、エネルギー消費の増大などの兆候が生じ、さらには機能不全（固着など）、部材の破損、異常な漏れ等を生じる

管理不良－損傷の一次的な原因は操作・設計・製造の直接担当者の責に帰されるが、最近はその背景として組織を管理する人の責任も問われるようになっている（例、JR西日本福知山線脱線転覆事故で社長・本部長の管理責任が問われている）。最近はテロ対策も重要な管理項目の一つ

自然災害－火山噴火、土砂崩れ、想定外の大規模災害（風水害、地震、津波、異常高温・低温）、これらの複合（例、地震＋津波）、動物・鳥との衝突

故障モード：**操作・制御不能**、**部材の折損**、**過回転・オーバスピード**、**始動不能**、**火災・爆発**、**過大振動**、**作動不良**、**寿命短縮**、**ITシステム不良**、**ビル崩壊**、**異音**、**固着**、**滑り**、**精度低下**、**外形の損傷**（キズ、凹み、変形、打痕、塗装の剥がれ）、**倒壊**等

部材損傷破壊

②

機械設備の破壊プロセスは複雑で複数の破壊メカニズムが競合する。「破壊」は最終の状態で、それ以前の状態は「損傷」という。材料の破壊は、荷重を負荷した途端に破壊する「非時間依存形破壊（過荷重破壊、即時破壊）」と、時間と共に徐々に破壊が進行する「時間依存形破壊」に分類される

延性破壊：荷重のかかる鋼材など、本来は一定量伸び変形が生じた後に破断する。鋼材は弾性変形の範囲内の応力で使用する。一般に靭性の高い材料

脆性破壊：荷重時の条件次第で十分に伸びずに瞬時に破断する。　(1)温度が低い、(2)変形速度が速い、(3)大寸法・切欠きなど構造不連続の存在、等が要因。評価手法はシャルピー衝撃試験

疲労破壊：金属などの材料は実際に使われる時間が経過して負荷応力が繰返され、その部品や弱い箇所に亀裂が入り、稼働時間とともに進展して破壊に至る。繰返し応力による局所的塑性変形が要因

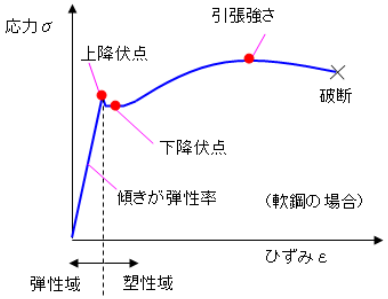

図48-3　応力ひずみ線図（延性破壊）

図48-4　延性破面であるディンプル　（アミック）

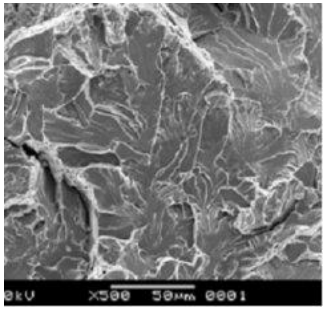

図48-5　脆性破面である劈開破面(リバーパターン)（アミック）

クリープ破壊：ボイラやタービンなど高温で使用される材料は、時間経過により伸びが次第に増大する**クリープ現象**が起こる。金属は絶対温度（K）で表した融点の約1/2の温度（ex.鉄は905K/632℃）で一定の荷重が作用するとクリープ現象がみられる。高温で繰返し荷重による疲労破壊を「クリープ疲労」という。高温機器で始動・停止を繰返す場合に多い

図48-7　クリープ試験　（NIMS）

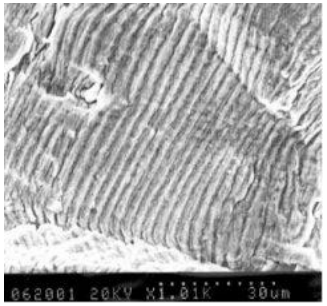

図48-6　金属疲労破面である縞模様(ストライエーション)（アミック）

腐食（コロージョン）：金属の腐食は「水」の有無により「湿食」と「乾食」とがある。湿食が一般的で、長期間の腐食による減肉（腐れ代）を想定して機器の強度が設計される。腐食進行速度は材料の種類、使用環境により変わる

エロージョン（壊食）：部材に流体または固体粒子の衝突が繰返される機械的作用により材料の表面が局所的に剥離して減肉される現象。キャビテーションエロージョン（ポンプ、船のスクリューなどの気泡によるもの）、液滴衝突エロージョン（蒸気中に発生する水滴で蒸気タービン翼表面の侵食）などがある。腐食と同時に発生しどちらが支配的か区別がつかないことも多く、エロージョン／コロージョンと呼ばれる

応力腐食割れ（SCC）：引張応力がかかる中で助長される腐食。溶接部など残留応力が原因となるものが多い。応力除去と併せて適切な材料選定、環境改善などが重要

図48-8　シャルピー衝撃試験　（NIMS）

劣　化

機械の部材は長時間使用の間に、繰返しの変動応力、磨耗、高温・腐食性雰囲気での強度低下など材料の経年劣化で亀裂・割れが発生し、進展・破壊に至る。耐用期間を決めて期間内に交換が必要。「損傷」は減肉、割れ、劣化に大別

金属疲労：部品の大きさには関係なく、小さなICから巨大な船まで共通して発生する。
「S-N曲線」は応力振幅と破壊までの繰返し回数の関係をグラフにしたもの　⑦

表48-1　金属疲労を起こす例

対象機械	部　品	変　動　荷　重	損　傷
鉄道車両	走行車軸	自重による変動曲げ	軸折損
船	船体	浮力による変動曲げ	船体の折損
自動車	クランク軸	ピストンからの振り振動	トルク破断
航空機	胴体	内外圧力差の変動	内圧による破損
ボルト	ねじ部	繰返し締め付け	引張力破断

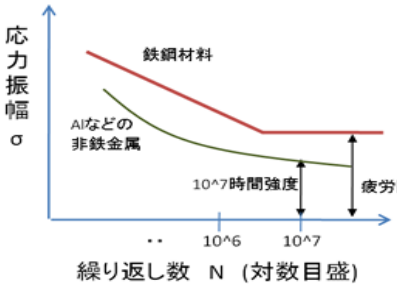

図48-10　S－N曲線

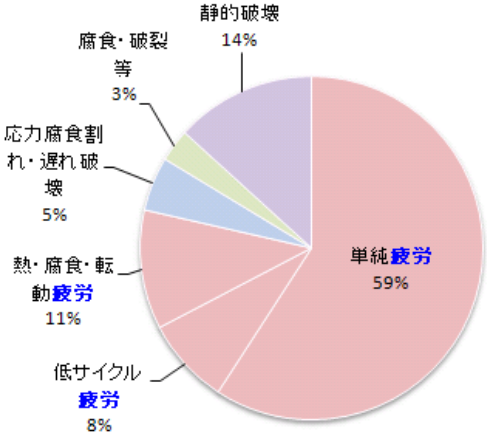

図48-9　機械装置の破損原因分類

低サイクル疲労：応力振幅（最大応力←→最小応力の繰返し）が大きく、10^4回以下の短い繰返し数で破断する疲労。応力振幅は材料の降伏応力に達することもある。温度変化の繰返しによる低サイクル疲労を熱疲労という。応力集中は形状の不連続性（板の穴、くびれ等）により、局所的に大きな応力が発生することで、疲労破壊の誘因になりやすい

フレッティング疲労：フレッティングは接触している二物体間で接触面に沿って相対的に微小な（数十μ以下）滑りが連続して行われているときに生じる表面損傷。「フレッティング疲労」は繰返し応力が作用して接触面に微小な滑りが生じ、磨耗と応力が相乗して起こる疲労現象。疲労強度が著しく低下し、実用上大変危険な現象　⑦

腐食：酸化還元反応により表面の金属が電子を失ってイオン化し金属面から脱落して行くことで進行する。一般的に言われる、表面的に「さび」が発生することにとどまらず、腐食により厚さが減少したり、孔が開いたりすることも含む。全面腐食、孔食、すき間腐食、粒界腐食、応力腐食割れ、電位差腐食、流動腐食、酸化及び高温腐食の8種類に分類される　（Wikipedia）。
防食方法は、環境処理、環境遮断、材料の選択、電気防食

図48-11　腐食事例（ほぼ10年経過した亜鉛めっき鋼管の内面）（kitanet）

磨耗：表面を接しながら相対運動する物質の一方あるいは双方の表面における逐次減量（逐次損失）。その機構に基づいて1. 凝着磨耗、2. 切削磨耗、3. 疲労磨耗に分類される。
機械では、ベアリング、タイヤ、歯車歯面、工作機械の刃物台等の磨耗が問題となる

故障解析

故障解析の狙い：*あらゆる手段を使って故障原因を究明し、根本原因を設計にフィードバックして、同種の故障発生の未然防止を図る。故障を通じて研究開発の促進、歩留り向上、信頼性・顧客満足度向上につなげる*

FMEA：Fault（またはFailure）Mode and Effects Analysis／故障モード解析。潜在的故障・不具合の体系的な分析方法。 設計や製造工程の不完全や潜在的な欠点を見出すために構成要素の故障モードとその上位アイテムへの安全性の影響を解析予測する。重大故障モードには発生防止の設計見直しを図る

FTA：Fault Tree Analysis／故障の木解析。対象のシステムに起こり得る故障・事故・異常・危険状態などの事象を最上位に置き、これを発生させる原因事象に何段階も展開。根本原因となる基本事象にまで分解して、その中から重大原因を洗い出し、故障の発生を防止する

ワイブル解析：信頼性試験や市場からの寿命データに基づきその分布の特徴から故障発生のメカニズムを考察する。ワイブル確率紙を使って解析することにより、寿命分布の平均値やバラツキを直観的に把握できる

バスタブ曲線：時間経過に伴う故障率の変化を表示した故障率曲線のこと。その形から**バスタブ曲線**と呼ばれて、時間の経過により初期故障期、偶発故障期、摩耗故障期の3つに分けられる。摩耗故障期を遅らせるためには定期点検が不可欠

ハインリッヒの法則：労働災害における経験則の一つ。一件の大きな事故・災害の裏には、29件の軽微な事故・災害、そして300件のヒヤリ・ハット*（事故には至らなかったもののヒヤリとした、ハッとした事例）*があるとされる

アイテム	機能	故障モード	故障影響	故障原因	重要度（対策前） 影響の厳しさ	発生頻度	検知難易度	致命度	対策の検討 対策内容	担当部門 実施期限	対策実施とその結果	重要度（対策後） 影響の厳しさ	発生頻度	検知難易度	致命度
冷却ファンBRG	・ファンシャフトの回転保持 ・振動がなく静かである	BRGボールかじり	冷却ファン停止 一電装ユニット過熱による動作不良	BRG潤滑剤劣化 BRG転動面への異物侵入 BRG偏荷重大 >BRGハウジング部変形	3	3	3	27	・BRG封止構造を××にする ・評価方法を変更し、××に基づく高温連続長寿命試験での確認	設計 ○月○日 実験 ○月○日	封止構造変更を実施、試験合格（報告書××参照）	3	2	1	6
		BRG腐食	BRG内部から異音 一設置箇所で異音クレームが出る	BRG部への水や腐食性物質の侵入 >メンテ時の洗浄不良 >環境湿度が厳い	2	3	2	12	・評価基準××に基づく高温高湿試験での確認	実験 ○月○日	試験合格（報告書××参照）	2	2	2	8

図48-12　FMEAフォーマット－冷却ファンの例
（構造化知識研究所）

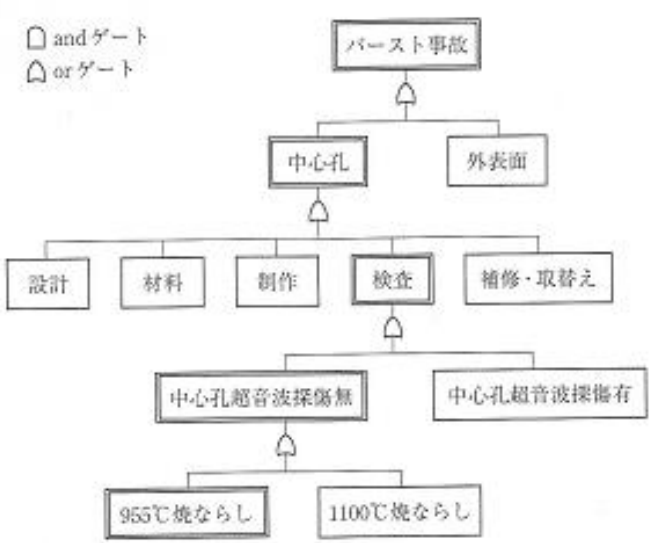

図48-13　タービンロータ破壊のFTA　②

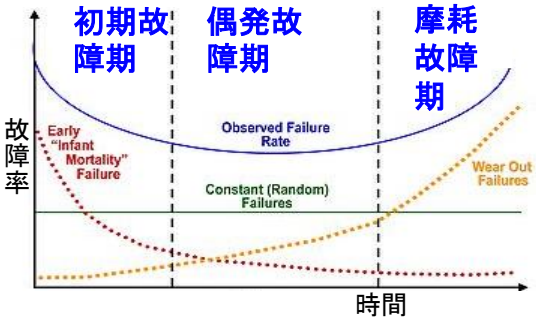

図48-14　バスタブ曲線
（Wikipedia）

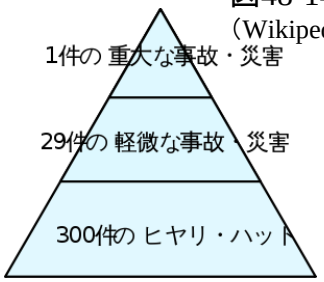

図48-15　ハインリッヒの法則

エラープルーフ

人間の作業・活動は一定の確率でエラーを起こす。人的以外の要素、すなわち機器、手順、文書等の作業方法を改善するのが「エラープルーフ化」。その代表的な事前洗い出し分析手法がFMEA
（中央大中條武志教授）

フェイルセーフ（故障安全）：誤操作・誤動作による障害が発生した場合、設備を常に安全側に制御して事故につながらない設計方式。例、鉄道の信号機は故障したときには必ず赤表示にする（信号機故障よる鉄道事故の発生防止）。 加圧水型原子炉の制御棒の電源が切れると制御棒が自身の重さで炉内に落下して自動的に炉を停止させる　①、Wikipedia、IT用語辞典

安全装置－誤使用・故障等によって異常な状態に陥った際、損害が大きくならないように食止める手法－過電流のヒューズ、ブレーカ、配管等の異常高圧に対する安全弁、非常脱出ドアの外開き、振動を検知して自動消火する石油ストーブ

フールプルーフ（ばかよけ）：誤って操作をしようとしてもその操作ができないような設計方式－電気のコンセントは電源側が凹で、電気品側が凸となっていて、感電防止がはたらく。正しい向きにしか入らない電池ボックス、ドアを閉めなければ作動しない電子レンジや洗濯機の脱水槽、ギアがパーキングに入っていないとエンジンが始動しない自動車など　①、IT用語辞典

偶発的ハザード防止：電気コンロに押し回し式（2アクション式）の点火スイッチ

チャイルドプルーフ：乗用車のドアを子供が内側から開けられないようにするロック

図48-16　電気のコンセント

リダンダンシー（冗長システム）：建造物や機械類・システムの設計における余裕。対象物に想定される負荷、および、要求される性能に対し、それより多め、大きめに設計された「余裕」や「余地」。必要最低限のものに加えて余分や重複がある状態。航空機の操縦信号は電気式と機械式を2重に備えており、一方が不具合でも、他方のシステムが代行する

インターロック：運転員が誤った操作をしたり、定められた手順の操作を行わないと、それより先の操作ができない仕組み。 ブレーキペダルを踏んでエンジンをスタートさせる自動車

アラーム・トリップ：接点付き温度計、接点付き圧力計など使用状態を超えたときにアラーム信号、トリップ信号を発信する接点を備えている。機械、装置全体が危険な状態で運転されることを防止する

防爆電気設備：可燃物の着火源とならないように電気設備に特別の技術的対策を講じたもので、ガス蒸気電気防爆設備とふんじん防爆設備とがある。構造としては耐圧防爆、安全増防爆、本質安全防爆などがある。爆発にはふんじん爆発、ガス爆発、混合爆発、水蒸気爆発などがある

図48-17　接点付き温度計
（山本計器製造）

取扱説明書：消費者に製品を正しく安全に使用してもらうための重要な手段。製品本体の設計上の欠陥補うものであってはならない。また、異常の際の対処方法を示すことが望ましい。メーカがPL法の訴訟を受けることを回避する根拠として記述内容は重要

定期整備

機械・設備は使用時間と共に磨耗等により、その機能や性能の劣化が進行する。機械の管理者はそれが健全な状態で使用できるよう、必要な整備・点検を定期的に実施する責務がある。点検の間隔は機械・設備の使用目的に応じて決められ、多くの場合、法律で規定されている

具体例

航空機：航空法に基づいた航空会社の整備規定により、機体、エンジン、装備品の区分で実施。
機体・エンジンの整備内容；飛行前点検（外観、燃料補給等）、A整備（エンジン・オイル、タイヤ等）、B整備（エンジン中心で、A整備に含める会社もある）、C整備（配管、配線等）、D整備（機体をドックに入れて行う重整備で、機体構造、再塗装、エンジン重整備等、UT・MT・ET等の非破壊検査、ボアスコープ（内視鏡）検査等を実施）

図48-18　ボアスコープ　（JAL）

		767	777	MD-11
A 整備	システム	500時間	500時間	400時間
	機体構造	300飛行回数	75日または400飛行回数	
C 整備	システム	18ヵ月または3500時間	5000時間	15ヵ月または4200時間
	期待構造	18ヵ月または3000飛行回数	750日または4000飛行回数	
M 整備	6年		（検討中）	5年

図48-19　整備時間間隔　（JAL）

外航船：国際海事機関（IMO）が定めた国際海上人命安全条約（SOLAS条約）で世界的な基準が決められ、5年ごとにドック入りして定期検査、1回／年中間検査が行われる

自動車：道路運送法により2年毎（新車は3年後）に定期点検整備（車検）が必要で、車検から12ヶ月後に12ヶ月点検が要求される。また、日常点検としてタイヤの空気圧、磨耗などのチェックが望ましい。
必須点検箇所；＜車検＞大別して－エンジンルーム（電気配線など）、外装（灯火類など）、室内（運転席から見る警告等など）、足回り（オイル漏れなど）、　＜12ヶ月点検＞かじ取装置、制動装置、走行装置、動力伝達装置、点火装置

新幹線レール：路線検査専用の「ドクターイエロー」が1ヶ月に3回「のぞみダイヤ」、2ヶ月に1回「こだまダイヤ」で走行し、線路状態を床下にある様々なセンサーで感知している

図48-20　ドクターイエロー

建築設備：劇場、ホテル、店舗、事務所、雑居ビル、マンションの所有者または管理者は、建築基準法に基づき毎年検査を実施し、検査報告書を提出する義務がある。
検査設備項目；換気設備、排煙設備、非常用の照明装置、給排水設備

エレベータ／エスカレータ：昇降機の所有者等は、「昇降機検査資格者」等に定期検査を行わせ、その結果を、昇降機定期検査報告書に作成し、昇降機に関する地域法人等を経由して特定行政庁に報告する。建築基準法で月一回以上の定期点検と、年一回の定期検査が義務付けられている。法定償却耐用年数は17年、計画耐用年数は25年。
検査項目；　●各電路の絶縁抵抗値測定、●非常止め装置の作動試験、●調速機の作動試験、●油圧試験・加圧試験（油圧式のみ）
（マンション管理士長沼憲治事務所）

ガス設備定期保安点検：ガス会社はガス事業法に基づいて3年に1度家庭を訪問して点検を実施。
調査項目；ガス配管の漏洩検査、給排気設備の調査

信頼性ニーズ

機械に対する社会の省エネ志向、コスト競争激化、グローバル化に伴う生産拠点の世界への分散、高性能化・多機能化、商品ライフサイクルの短縮に伴う短期間開発等から、信頼性への管理ニーズが高まっている

QC七つ道具：問題を解きほぐすとき、事実を見えるようにする7つの手法。信頼性に関するトラブルの未然防止のため職場の改善活動である「QCサークル」がその活動の道具として開発された7つの技法。製品の統計的分析手法で、品質改善に役立てる

表48-2　QC七つ道具

パレート図	品質不良などの要因に複数の項目がある場合に、対策の重点方針を設定できる
特性要因図	特性（品質）に影響している要因を系統的に図解することで、原因追及が容易になる
ヒストグラム	データのバラツキの分布状態から工程の問題点を推察できる
グラフ・管理図	グラフ：データを視覚表現することで比較や変化を容易に把握できる
	管理図：工程の異常発生を未然に防ぐことが出来る
チェックシート	チェックするだけの簡単な作業で、必要なデータを集められるとともに重大なミスを防止できる
散布図	二つの要素の間に関係が存在するかどうかが判る
層別	漠然としているデータ群が、層別によって特徴を現してくる

新QC七つ道具：スタフのTQC（Total Quality Control）のために用いられる言語データ的品質管理手法。「親和図法」「連関図法」「系統図法」「マトリックス図法」「アローダイアグラム（PERT）」「PDPC（Process Design Program Chart）」「マトリックスデータ解析法」

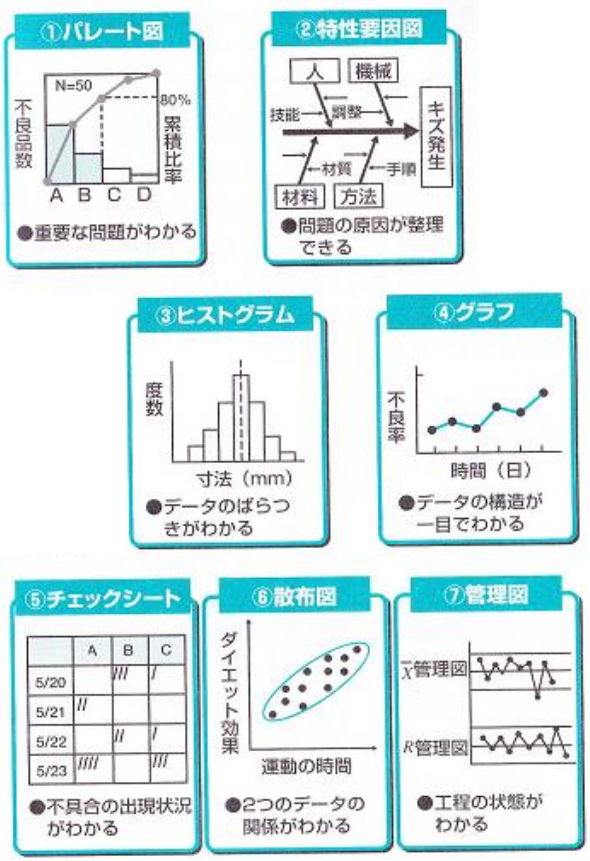

図48-21　QC七つ道具

信頼性試験：アイテムの信頼性確認等のために行われる試験	1.**信頼性決定試験**－故障率や寿命を求める試験	5.**ステップストレス試験**－ストレス強さを段階的に増加
	2.**信頼性適合試験**－目標故障率のクリアを判定	6.**スクリーニング試験**－ロットの中で故障しそうな部品を除去
	3.**環境試験**－環境ストレスに対する耐性評価	7.**デバギング**－不具合を見つけ出す
	4.**限界試験**－耐えられる限界の見極め	8.**加速試験**－通常より厳しいストレスで行う時間短縮試験

損傷検査

非破壊検査（NDI）は物を切断したりしないで壊れる前に部材の表面あるいは内部の「きず」を検出する技術。乗り物、建築物、化学プラント、各種機械などあらゆる工業分野で製造時、使用期間中などに実施

非破壊検査

目視検査（VT：Visual Testing）：試験体の表面の性状（形状、色、変色、さび、粗さ、欠陥の有無など）を肉眼もしくはファイバースコープ、ビデオ内視鏡などの補助機器を用いて観察し、欠陥を検出

X線検査(RT: Radiographic Testing) ：放射線の照射により、物体の内部構造・異常・残留応力を検査

超音波探傷検査(UT: Ultrasonic Testing) ： 超音波を用いて、物体の内部構造を検査。高圧ガス容器の溶接部検査、船舶、航空機などの設備検査

渦流探傷検査(ET: Eddy Current Testing) ：電磁誘導により発生する渦電流と磁気を利用して、物体表面の傷を検出。電流を流すという方法上、不電導体の検査には対応できない。ボルト・ナットなどの良否判定や異材判別（材料の評価）、金属部品の表面欠陥（亀裂・打痕）の検出などに使用

磁粉探傷検査(MT: Magnetic Particle Testing) ：電磁石と磁粉を用いて、物体表面の傷を検出。電子部品・基板の亀裂検出、油圧機器・タンク・配管などの油漏れ検出、外食産業や給食設備での厨房・調理器具・食器などの脱脂洗浄の確認の用途で使用。強磁性体材料に限られる

浸透探傷検査(PT: Penetrant Testing) ：浸透剤と現像剤の2種類の液体を用いて、物体表面の傷を検査。強磁性体以外の検査対象の表面上に存在する微細な傷を検出。傷とその位置は検出できるが、傷の深さは測定できない

アコースティックエミッション検査（AT：Acoustic Emission Testing）：材料が変形もしくは破壊したときに発生するAEを検知することで機械の健全性を評価。他の検査法と異なり、欠陥の発生中にリアルタイムで欠陥を検出することが可能 ⑤

赤外線サーモグラフィ検査（TT：Infrared Thermographic Testing）：検査対象物の表面各点からその温度に応じて放射される表面温度分布を測定して欠陥を検知する方法。事前に標準試験片を使用して試験条件を確認する必要がある

破面検査：破損した部品（ボルト、シャフト、ギアなど）や構造部材（配管、レール、梁など）の破面は、1）破損形態（疲労破壊、静的破壊など）、2）破損起点（疵、介在物、過大負荷、腐食など）、3）破損方向・応力負荷方向・種類（曲げ応力、引張応力、ねじり応力など）、等の情報をもっている。破面を走査電子顕微鏡（SEM）で観察することによって、その部品、部材がどのような原因で、どこから、どのように、なぜ破損したかを推察することができる （㈱アミック）

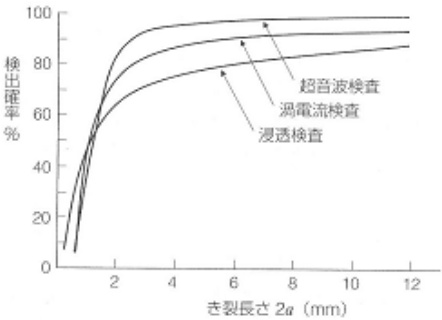

図48-22 疲労亀裂の発見確率 ⑨

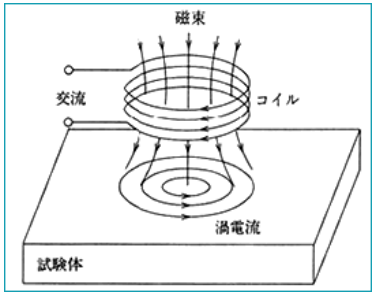

図48-23 渦流探傷検査 ET
（非破壊検査㈱）

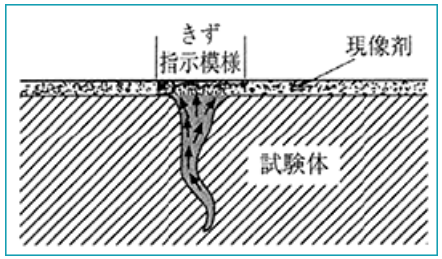

図48-24 浸透探傷検査 PT
（非破壊検査㈱）

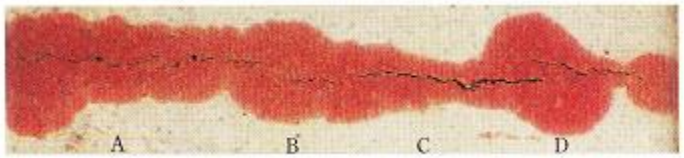

図48-25 応力腐食割れのPT結果指示 ⑩

事故調査

科学技術・工学システムの発展は人間の利便性、社会繁栄・発達に重要な役割を果たしている反面、その高度化、複雑化、巨大化が進み、事故が発生すると社会経済活動に甚大な被害を及ぼす。発生事故の調査・分析をして再発防止につなげる事故調査の重要性が社会的に認識されている

事故調査の基本的手順：　（事故調査機関のあり方に関する検討会／消費者庁ほか）

- 実態調査ー事故品の使用状態の客観的な確認。現物確認（破面、変形、磨耗等）、使用実態(使用時間、過負荷、環境、運転員等）
- 緊急対応ー同等品の使用継続の危険性有無、使用中止命令、緊急点検（航空機の飛行停止、リコール、浜岡原発の例）
- 調査の属性ー独立性（規制行政の影響排除、刑事手続きから独立）、公正性、網羅性（分野横断的）、専門性（専門知識・分析手法）
- 調査・分析ー真の原因追求（FTA等の手法）、被害の大きさ軽減の方策、緊急処置による使用継続
- 調査のまとめ・対策ー恒久的改善策・再発防止策（ヒューマンファクターを含む）、事故記録の保存、データベース化
- 報告・発表ー事故発生・調査の経緯、被害者への対応、風評被害防止

表48-3　公的な事故調査機関の例　（Wikipedia）

運輸安全委員会	航空事故、鉄道事故、海難事故を扱う国土交通省の外局
航空安全管理隊	航空自衛隊内における航空事故を扱う部隊
国民生活センター	製品事故を扱う。消費者庁が所管する独立行政法人
製品評価技術基盤機構	製品事故を扱う。経済産業省が所管する独立行政法人
交通事故総合分析センター	交通事故を分析する財団法人
高圧ガス保安協会	ガス関連事故を扱う
原子力安全委員会	原子力事故を扱う。内閣府の審議会等
食品安全委員会	食品事故を取り扱う。内閣府の審議会等

運輸安全委員会：運輸安全委員会設置法に基づき2008年10月1日に設置された独立行政委員会。設置法は、航空・鉄道・船舶事故または重大インシデントの原因究明調査を行うとともに、調査結果に基づいて国土交通大臣または原因関係者に対し必要な施策・措置の実施を求め、事故の防止及び被害の軽減をはかる。対象は航空機の墜落、衝突又は火災等、列車（車両）衝突・脱線・火災事故等、船舶・同関連施設の損傷、同運用に関連した人の死傷等

東京電力福島第一原子力発電所における事故調査・検証委員会（「検証委員会」）：福島第一原子力発電所における事故の原因及び被害の原因を究明するためにの調査、検証を、国民の目線に立って開かれた中立的な立場から多角的に行い、被害の拡大防止、同種事故の再発防止等に関する政策提言を行う。2011.5.24閣議決定。委員長／東大名誉教授畑村洋太郎氏

損傷・事故低減

機械の損傷発生を可能な限り抑えることは、安全・経済的運用の面から重要。市場導入以前、運用中、損傷発生後の各段階で適切な対処が求められる

1. **開発・設計**：機械の寿命・故障発生率の予測は開発段階での重要なテーマの一つ。デザインレビューでもチェックし、使用環境（最高温度等）、連続使用時間、点検整備計画等が策定され、取扱説明書にも反映される

2. **点検整備**：交通機器（航空機、鉄道、自動車、船舶等）、公共設備（エレベータ、遊園地の遊具等）、生産設備（港湾、製鉄、化学プラント、発電所等）はそれぞれ使用目的に応じて法規、協会規定に基づく点検・整備の項目、間隔が決められ、それを遵守することによって事故発生を防止する

3. **予防保全（PM）と事後保全（BDM）**：保全とは機械などを使用可能な状態に保持するために行う処置・活動。BDM（Break Down Maintenance)は機械などが故障したあとに保全を行う方式で、故障による影響が低い場合に適用（例、切れた電球の交換）。PM（Prevention Maintenance）は使用できなくなると大きな影響がある場合に適用され、そのようになる前に保全を行う ⑤

4. **再発防止**：過去に経験した同じ不具合を再発させないための仕組みつくりが欠かせない。 不具合再発の4つの要因；

(1) 真の原因究明の不足－電子制御関係はリコール事象の再現が難しく根本原因の追究が困難。組織横断的な取組みが不可欠

(2) 不具合報告書の<u>再発防止策</u>が分かりにくい－定量的な記述、図・写真の活用で分かりやすくする

(3) デザインレビューでチェックの抜け・漏れ発生－データ蓄積量が多くなりすぎで、体系的な整理・分類、キーワード検索を可能にする

(4) 不具合報告書などが部門内で運用されている－部門別管理から組織的管理に変革すること

なぜなぜ分析：災害やクレーム、不良、故障、ミスといったトラブルに対して行われることが多い。しかし、「作業時間がかかり過ぎる」「システム上の情報と実際の在庫量が合わない」といった、現場レベルの課題にも適用できる

なぜなぜ分析の例

上司「なぜ、売り上げが下がったのか？」

部下「〇×製品の注文数量が減りました」

上司「では、なぜ〇×製品の注文数量が減ったんだ？」

部下「お得意様の□〇社からの注文数量が減ったからです」

上司「なぜ、□〇社からの注文数量が減ったんだ？」

部下「う～ん。分かりません」

上司は「それを聞いてくるのが、お前の仕事だ！」

5. **事故・クレーム対応**：　（日本経済新聞/2011.7.6）

(1) 相手の感情を和らげるためにまず限定的に謝罪（すぐに全面謝罪はしない）
(2) 相手の言い分をよく聞き、感情を理解し共感する（相手の立場で考える）
(3) 事実関係や状況、相手の感情や要望を把握（興奮が収まってから質問）
(4) 問題解決のための具体的な対応を行う（丁寧な対応がカギ）
(5) 相手がクレームを表明したことに対して感謝する（リピータとしてつなぎとめる）

6. **ダメージコントロール**：物理的な攻撃・衝撃を受けた際に、そのダメージや被害を必要最小限に留める事後の処置。自動車、医療、軍事などの分野で使われる。 防災訓練はダメージコントロール訓練ともいえる。 例、艦艇では全体を隔壁でいくつかの区画に分け、1箇所の被爆が他の区画に影響を及ぼさないようにして、沈没を回避する

課　題

想定外自然災害	2011年3月の東日本大震災では、盛んに「想定外」の津波と報道された。近年、強大台風、異常高温、異常寒波、大地震、大津波、大竜巻、集中豪雨・洪水など過去最大のものを上回る自然の猛威に襲われる可能性がある。このときでも本体および付帯する機械の暴走は最低限回避し安全緊急停止するダメージコントロール策は必須の課題
これからの非破壊検査	複合材料のように新しい材料が機械に幅広く使用されるようになり、機械的･電気的な異方性、不均質、複雑な損傷形態、製法によって表面の凹凸など従来の非破壊検査をそのまま適用できない新しい検査技術、検査規格の開発が望まれる
PL法	製造物責任法（1994年）。製品の欠陥によって生命、身体または財産に損害を被った場合には、被害者は製造業者などに対して損害賠償を求めることができるという法律。欠陥と損害の因果関係が立証されればよくなり、立証の困難性が緩和された。この法律制定後、メーカの取扱説明書には「警告」「注意」事項の羅列が目立つようになった
予防安全システム	自動車事故を減らすための各種の安全システムで、代表的なものとして自動車を知能化したASV（Advanced Safety Vehicle）や道路側を知能化したAHS（Advanced Cruise-Assist Highway System）などあり、コンピュータを使って危険回避を行い、ドライバのヒューマンエラー防止を支援する

キーワード

平均故障間隔 MTBF	Mean Time Between Failures。修理しながら使用する系、機器、部品などの相隣する故障間の動作時間の平均値。MTBFの対象は「修理しながら使用する」ものに限定されている。MTBFは故障までの寿命を示しているので、「寿命」の代わりの指標。代表的な対象は航空機のエンジン。使い捨て部品では**MTTF**／「故障までの平均時間」を使用
故障率	「平均故障率」と「瞬間故障率」がある。平均故障率＝総故障数/総稼動時間。瞬間故障率は、「ある時点までに作動してきた系、機器、部品などが引き続く単位期間内に故障を起こす割合」で、単位は%/時間
バードストライク	鳥が機械や構造物に衝突する事故で、鳥自身の被害と同時に機械にも被害が生じることが多い。とくに飛行機のジェットエンジンに鳥が吸い込まれ飛行に障害が生じたり、ヘリコプタ、風力発電、高速鉄道などでも事故が発生している。鳥類保護の点からも予防措置が必要で、空港周辺では鳥を追い払ったりするが、有効対策の決め手はない
シックスシグマ（6σ）	品質管理手法の一つ。σ（シグマ）は正規分布（たとえば製品寸法のばらつき）での標準偏差で、平均値から上下それぞれ6xσの範囲を外れる確率は3.4/100万であるという状態を目指す。実際は4～5σを目標とし、厳密には6σは1/数億の欠陥レベルとなる。適用範囲は製造部門が中心であるが、営業、企画、サービスなどへの適用も多い

注）　MTTF＝Mean Time to Failure