

歯車損傷大全 巻頭言

日本機械学会 RC-156 調査研究分科会の時、歯車損傷図鑑の原本が作成された。AGMA や ISO などにも歯車損傷の写真と説明の規格はあるが、現実におこる歯車損傷の多様さに比べ、規格内の記述はあまりにも単純すぎて現実の歯車トラブルには対応できないので、RC で日本の経験を生かして最高の歯車損傷図集を作り、日本の歯車工業発展に寄与せんとするものであった。作業は膨大な労力を要するものであったが、多くの研究者側委員の協力と当時岡山理大教授（元石川島播磨重工）の滝辰彦博士の努力により日の目を見、研究成果報告書の別冊として RC 参加会社に配布された。続いて RC-184 の時にはこの損傷図集の歯車工業的重要性が認識され、極くわずかの検討が加えられただけで、再び、研究成果報告書の別冊の歯車損傷図鑑として RC 参加会社に配布された。

この歯車損傷図鑑が色々な機械会社にとって、歯車損傷の原因追求や対策の立案に有用であることが認識され、別冊の入手の希望が多く寄せられ、また工業高校や大学の工学部での教育にも有用であるとのことから、機械学会の出版物として市販してはとの希望が寄せられ、RC-184 でその是非が検討された。日本機械学会から出版するには、内容的に十分な検討がさらに必要であるとの意見も多かったが、時間的制約とその検討に要する膨大な仕事を誰が被るかで、良い解決法が見つからず、RC-184 の別冊であった歯車損傷図鑑に何等、手を加えることなく、表紙だけを付け替えて市販された。

年月が経ち、日本機械学会にもこの図集の在庫がなくなってきたので、そのままの増刷をするか、改定をするかの問い合わせが、RC-261 になされた。審議の結果、前の出版の折にも、内容の十分なる再検討なく市販されてしまったので、今回はその轍を踏まず、内容をアップデートした改訂版を出すこととなって、膨大な仕事をこなさねばならないことになった。

RC-156、RC-184 の時代から、現在までの間で、歯車損傷についての知見、観察技術に著しい進歩があったので、今回はその情報をぜひとも取り込まねばならないとされた。

観察技術としては、まずデジタルカメラ技術の進歩があり、従来にはなかった鮮明な損傷写真が容易に撮れるようになった。また、歯面粗さやうねりとかの評価に関係する非接触の表面形状の絶対測定が容易になった。その結果、今まで分からなかった損傷の発生ならびに進展のメカニズムについて多くの知見が得られている。今回の改定版には、それをぜひともそれを反映させねばならない。

歯車損傷のメカニズムとしては、歯先や歯の側端接触ならびに歯面の摩擦で発生する摩耗粉のかみ込みも歯車損傷に予想以上に大きい影響を与えていることも明らかになった。すなわち、これらのことで発生したマイクロクラックがかみ合いの進行につれて進展し、損傷はポジティブフィードバック系の動的挙動として顕在化し、最終損傷に至るものがかなりの割合を占めることも分かってきた。また、日本歯車工業会が 2012~2015 年に実施した超高負荷容量歯車の開発研究「JGMAXproj」では貴重な新たな損傷写真も多く得ることが出来た。その他からの提供写真をも合わせると、新たに採用すべき写真の量も既掲載分を上回るほどにもなり、また、その解説も、各々の写真毎の単純な解説では済まなくなった。損傷がどのようにして発生して、専門用語で定義されているような状態になるかの説明がどうしても必要である。そのように書き進めて行くと図や写真以外の説明の箇所もかなり増えて、歯車損傷図鑑と言うより、世界初の歯車損傷エンサイクロペディア的なものとなり、「歯車損傷大全」として出版することにした。

出版は以下の方針により編集された：

- ① 旧図集に掲載されていた写真は、原則、削除はしない。現在の知識から内容的に間違っていると判断できるところは削除し、加えるべき説明があれば、そのコメントを加える。しかし、若干の再検討の必要性が感じられるものであっても、古く不鮮明な写真についてはその作業は不可能であるので、それはそのままにしておく。
- ② 旧図鑑では、同じ損傷が「正常な状態、損傷の兆候、損傷」とその程度の差あるいは損傷進行の時間経緯で、他の章や節に属するようにまとめられていた。議論はあったが、利用者にはその方が利便性が高いと判断され、今回もそのまとめ方を踏襲することとする。

- ③ 「この規格書にこれと同じような写真がこの分類にあるので、そうしなければなりません」と言うような意見は、規格書を宗教的聖典であるかのように考える意見であるので、これにとらわれることなく、歯車損傷を物理現象としてとらえ、全体を見直すこととした。「先人の意見は多くの経験の集積であるからこれを尊重しながら、物理現象として正しく解釈し、分類や説明を決定して行く」姿勢で、作業を進める。
- ④ 原因についても、一義的に言うのではなく、色々な可能性を全て列挙するよう心掛けた。我々は神様ではないので、原因を一つに断定できるほど賢くはない。多くの可能性のある原因の内からどれが一番有力なファクターとしてその損傷を進展させてゆくかは、ケースバイケースであるので、各々の例について可能な限り関連する記述を残すこととする。
- ⑤ あるモードの損傷の原因として今まで一義的に言われてきたものでも、そのおお元のトリガ一的微細損傷の原因には様々な可能性があり、それがポジティブフィードバック系の損傷進展経過を経て問題となるものもかなりあるように思える。当然ながら、損傷対策は、おお元のトリガ一的微細損傷に対してなされなければならないので、そのような記述も加える。
- ⑥ 日本機械学会のようなある意味で authority が出版するこのような類の出版物は、かなり大きな社会的責任を持つ。例えば、歯車の損傷事故が起こり、その責任と賠償を巡って訴訟が起きた時など、「この本にこう書いてあるから、原因はこうなのだ」とかいう主張が、技術の分からない弁護士から出され、本当はその道の専門家でない人を専門家として呼び、技術の分からない裁判官が、その専門家の意見を聞き判断を下すような場合に、この手の出版物がその根拠として使われる場合が想定されるからである。損傷原因に色々な可能性が存在する場合、この本が、原因を特定してしまうと大きい害を及ぼすおそれがあるので、断定は避け、可能な限りの可能性について言及することとする。
- ⑦ 損傷写真の出典を明らかにすることは、歯車事故に関する種々の付帯的状況に影響を及ぼすことがあり、原則として、希望者以外の情報提供者名、出典は記載しないことにする。

しかし、具体的にまとめるのは容易ではなかった。その主たる原因は、損傷名には外見のみから決められたものと、その原因や発生経緯から物理現象として特定しているものが混在しており、それを上記②の状態に記述することになった。

可能性のある損傷原因を可能なかぎり列挙しながら、図鑑としての形態を保つには、「この損傷については、どこどこも参考になるので、その箇所をも見なさい」と言った、リンクを縦横に張ることが大切であると思われ、その作業を実行した。その結果として、一つの損傷について理解するには、図鑑の大半の損傷を見なければならない、あるいは、無限ループに陥るようないつまでたっても参照が続くようなことになるかもしれない。しかし、これこそ、歯車技術者を育てるために一番有効な教育的状況だと言う気もする。

前歯車損傷図鑑がどのように使われていたかを、若干の会社の人に聞くと、損傷があった時、損傷図鑑の掲載写真を通覧して、トラブルのあったものの写真と合うもの、あるいは、一番近いものを探して出して、この損傷はこれで、原因はこのように書いてあるので、対策はこのようだ、と言う手法の道具となっていたようである。しかしこの作業を能率的にこなすと、頭の中の思考過程は一切通過せずパターン処理になってしまう。これでまともな結果になるためには、以下の仮定を信心しているのである：

1. Photograph は写真であって写嘘ではない。すなわち、トラブルの現物写真は全てを正しく写しており、その損傷の情報が全てつまっている。
2. 損傷図鑑に書いてあることは全て真理である。
3. 損傷図鑑に似ている写真を見つけた事例と今問題になっているトラブル事例とは同じ環境条件のもとで起こっている。
- ・
- ・

このような態度は、極めて危険であり、担当者の知見、トラブル対策の経験を増すものではない宗教を熱心に信心している人が聖典に疑いをはさむことをしない、許されないという原理主義的思考と同じであ

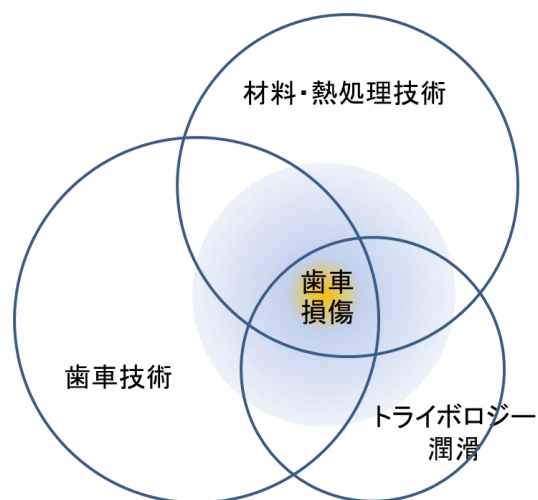
り、科学的に物事に対処するやり方ではない。歯車損傷に対峙した時、物事を思考する切っ掛けとして、前述のようなやりかたで損傷図鑑の対応個所を見つけるのは良いが、それからは上述 1.、2.、・・・のような罫に陥らないよう、どういう物理現象が起こった結果として当該のトラブル が起こったかを冷徹に考えていただきたい。その意味で、第 0 章に「0.14 写嘯」の節を設けた。Photograph は写真であるより写嘯であるぐらいの意識を持っていた方が良いと言うワーニングの意味と、歯車損傷などの写真を撮る際、少しでも情報量の多い、きれいな写真が撮れるようになるための「いろは」的内容である。

用語については、同じ意味のものが別表現で出てくる。これを統一することは編集作業としては容易であるが、どの用語に統一するかが難しい。現実にはどの表現も使われている現場の状態でそれを一つに統一すると、採用されなかった用語を理解することが困難になる技術者が今後増える可能性をもたらす。したがって、今回、以下の用語については、同じ意味であるにも関わらず、場所によって、どちらの表現が使われていても許容する。

亀裂	クラック
微細亀裂	マイクロクラック、ヘヤークラック
歯末面	アデンダム
歯元面	デデンダム
(歯先)稜、角	(歯先)エッジ
焼付き	スカuffing、スコ어링、その他
剥離	スポーリング、フレーキング、その他。「剥離」は損傷名とは原則関係ない一般的表現とする。
引き金	トリガー
かさ歯車	ベベルギヤ
まがり歯かさ歯車	スパイラルベベルギヤ
被害	ダメージ
太陽歯車	サンピニオン
遊星歯車装置の内歯車	アニュラス
遊星歯車	プラネット
内歯車	インターナルギヤ
破碎	クラッシュ
歯元隅肉部	フィレット
切欠き	ノッチ
応力	ストレス
せん断(剪断)応力	シェアーストレス
接触応力	ヘルツ応力
摩擦	フリクション
摩耗	ウエアー
歯の乗り上げ	ジャミング
小歯車	ピニオン
大歯車	ホイール、ギヤ

軸受	ベアリング
空気抜き	ブリーザー
歯車箱	ギヤボックス、ただし、ギヤボックスはトランスミッションユニットの意味で使われることもあり、歯車箱にはトランスミッションユニットの意味はない
硬さ、硬度	ハードネス
表面粗さ突起	サーフェスラフネス アスペリティー
開放（型）歯車（装置）	オープンギヤ
高温スカuffィング	ホットスカuffィング
低温スカuffィング	コールドスカuffィング
異物のかみ込み損傷	FOD （Foreign object damage）
部起点疲労損傷	TIFF （Tooth interior fatigue failure）
中間歯車	アイドル、アイドル歯車
面取り	チャンファ
ナイトル腐食	ナイトルエッチング
白層	ホワイトレイヤー
白相	ホワイトフェイスで「白層」と日本語の発音は同じでも意味が異なる

歯車の損傷写真は自社の事故を公表するような側面があると思われ、通常、人目に触れないように処分されることが多い。しかし、このことが歯車損傷を経験したと言う、何よりも重要な技術情報を自社の継続的技術として蓄積、継承されないものにしてきたことは、残念ながら事実である。経験したトラブル事例を正しく理解し、それを技術情報として次の設計や製造、歯車装置の運用に生かすことが真の意味で、歯車技術である。その技術情報が継承されてこそ、日本が歯車技術について、技術立国できるかどうかの精神的背景である。このことを良く理解され、出しにくい中、多くの損傷事例の写真を提供された方々に、衷心、御礼申し上げます。



歯車損傷と関連学問分野との関連

また、歯車の損傷を理解するには歯車技術だけではなく、材料・熱処理、トライボロジック的知識も不可欠である。これらの分野における専門的知識はおのおのきわめて深く、歯車技術者ではなかなか達せられないところがある。したがって、歯車技術者はこれらの分野の専門家と協力しなくては歯車損傷事故をうまく解決できないことも一般的である。しかし例えば、材料やトライボロジックの専門家は歯車研究者よりも極めて学者的であることが多く、現場技術者の歯車技術者とは若干違う性格を持たれていることが多いことは、知っておいた方がよい。例えば、現状、機械技術者が手に入れることのできる材料屋さんの材料の強さはピュアな条件下でのアカデミックな値で、①単純応力場、②小さな、均一組織の TP、③材料は使用中に継時変化しない等の条件での値であるのが一般的である。これに対し、歯車屋にとっての材料の強さとは、理由のいかんにかかわらず、壊れたら、それが材料の強さである。

これはどちらが正しいとか言うようなものではなく、このような状況を理解しながら、歯車技術者は材料・熱処理、トライボロジックの専門家と協力して損傷の原因を究明し、それに対する対策を立案できるようにしてゆくことが必要である。本歯車損傷大全出版に際して、このことを踏まえた内容に近づけるよう、不十分ながらも配慮したつもりである。

本書の内容は RC-268、275 調査研究分科会の研究者側委員会で検討審議されているものの原案であり、一応、現在の日本における歯車技術専門家のトップの目が通されるものであるが、これらの人々も神様ではないので将来的には内容が変更されるべきところもあるはずである。このことも踏まえ、歯車技術に関係される実業界の方々、将来、機械工業で働かんとされている若い技術者ならびにその卵の方々が、歯車の損傷原因の究明、対策の立案、さらに高負荷容量の歯車の開発にこの本を有用に利用されることを願ってやまない。なお、出版予定日はまだ明確でないが恐らく 2019 年ごろになるものと思われる。

また、公益財団法人応用科学研究所の賛助会員の方々に於かれては、出版に先立ち、このウェブに掲載した原稿にぜひとも目を通していただき、内容についてのご意見を頂きたい。また、新たな損傷事例があれば、その事例をぜひとも歯車損傷大全に掲載する方向でご検討いただき、応用科学研究所の久保*まで当該資料をお送り願いたい。この作業が常に続けられるよう、応用科学研究所のウェブに掲載した歯車損傷大全の原稿内容は、常にアップデートされているようにする。 * aizokubo@hera.eonet.ne.jp

この作業を現在から、また、歯車損傷大全第 1 版出版されてから後も営々と続けることにより、歯車損傷大全は常に進化し続けるものとなり、歯車損傷に関する我々の知見が、内容を常に豊かにしながら次の世代に受け継がれて行くものとする事が出来ると信じる。

2017 年 7 月

歯車損傷図鑑改定原案作成者
公益財団法人応用科学研究所常務理事
KBGT 代表



京都大学名誉教授 博士(工学) 久保 愛三

