論文 X線回折を用いたレールの 転がり接触疲労の定量評価

兼松 義一1・辻江 正裕2・松井 元英3

¹ 非会員	鉄道総合技術研究所	材料技術研究部摩擦材料(〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38)			
E-mail:kanematsu.yoshikazu.23@rtri.or.jp					
2正会員	鉄道総合技術研究所	鉄道力学研究部軌道力学(〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38) E-mail:tsujie.masahiro.13@rtri.or.jp			
3非会員	鉄道総合技術研究所	材料技術研究部摩擦材料(〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38) E-mail:matsui.motohide.69@rtri.or.jp			

レールは車輪との転がり接触によって疲労が蓄積し、き裂の発生や場合によってはレール折損に至るこ とがある. その予防策として、レール表層の転がり疲労層を削り取るレール削正がある。転がり疲労の程 度や深さを定量的に評価することができれば、より効率的なレール削正作業を実現させるための削正量や 削正周期の検討に資することができる. 新たな転がり疲労の評価手法として検討しているX線回折用いた 評価手法を削正履歴の異なる実レールに適用し、レール削正効果を検証した. その結果、削正履歴のない 経年レールの転がり疲労影響深さは約1.1mmであること、経年レールにおいて0.5億通トンの削正周期を適 用するためには0.3mmの削正が必要であることが分かった. また、これらより、経年レールに蓄積された 転がり疲労の影響の大半を除去できると考えられる経年レールの削正手順を検討した.

Key Words : railway rail, rolling contact fatigue, x-ray diffraction analysis, rail grinding

1. はじめに

鉄道レールには、車輪との繰り返し転がり接触により 疲労が蓄積する.疲労の蓄積の状況によってはき裂が発 生し、それが転がり接触疲労損傷へと進展する場合があ る. そのため、レールのメンテナンスの一環として、新 品レールへの交換作業や、疲労層除去を目的として砥石 などでレール表層を削り取るレール削正などが定期的に 実施されている¹⁾.現在,一般的にレール削正の周期や 削正量は一定の指標(0.5億トン毎に0.1mm削正)²のも とに実施されているが、レール削正を必要とする周期や 削正量を適切に見積もることができれば、より効率的で 費用対効果の高いメンテナンスが期待される. そのため には、レールに形成される転がり疲労の程度や深さを定 量的に評価することが必要となる. これまでレールの転 がり接触疲労の評価には、金属組織の顕微鏡観察や硬さ 測定³,電子線回折やX線回折を用いた集合組織の測定⁴, ⁵等が行われてきた.しかし、上述の一部手法は定性的 な評価に留まることや、車輪と転がり接触するレール最 表面での疲労程度を十分に評価できないことが課題であ った. 著者らは、回折X線のプロファイル解析(X線フ

ーリエ解析)を適用した転がり接触疲労の定量化につい て検討^のしており、これまでに二円筒転がり試験片に形 成された転がり接触疲労層と微小なき裂の発生との関係 性について評価⁷を実施し、転がり疲労の程度を定量的 に評価できることを示した.本研究では、評価対象を拡 大し、削正履歴や使用履歴が異なる実レールに形成され た転がり接触疲労状態を評価し、レール削正の効果を検 証し、これまでレール削正の履歴のない経年レールの予 防削正手法について検討した.

2. レールの転がり疲労とX線フーリエ解析

(1) 転がり疲労と金属組織

図-1 には転がり疲労が蓄積されたレールの長手方向 断面の金属組織写真を示す.また、図-2 にレールの転 がり接触疲労状態の模式図を示す.レール鋼の金属組織 は主にパーライト組織を有する結晶粒の集合体である. レールが転がり接触疲労を受けると結晶粒中や結晶粒界 に塑性ひずみ(転位)が蓄積される.転位は新たな結晶 粒界を形成し、金属組織が微細化しながら変化していく. これらより、転がり接触疲労を受けたレールには、転が



り接触疲労の履歴に対応した金属組織の微細化や車輪と のすべり接触による塑性流動が形成される.

(2) X線フーリエ解析指摘

結晶性の物質に X 線を照射した際に, Bragg の回折現 象によって得られる回折 X 線は, 照射された領域の結 晶性の物質の塑性変形状態に関する情報を含んでいる⁹. X 線フーリエ解析は, 各結晶格子面での回折 X 線のプ ロファイル (回折プロファイル)を利用することで, X 線結晶粒径や転位密度などの金属組織変化を定量評価す る手法である.回折 X 線プロファイルを定量評価する 解析手法はこれまでいろいろと提案⁹されてきたが, レ ール鋼に含まれる鉄(Fe)等には結晶軸方向に依存した弾 性異方性が異なることが存在する.この弾性異方性が X 線回折による詳細な解析を困難にしてきた.しかし,こ の弾性異方性を考慮した X 線フーリエ解析を T.Ungar ら が 1990 年代に提唱し, Fe 等の弾性異方性を有する構造 材料に適用され始めた¹⁰.

X線フーリエ解析による定量評価は、X線回折測定か ら得られた波形情報をもとに以下のように行った.まず, 式(1)に示す理論式から結晶子サイズの初期値のを得る.

$$\Delta K = \alpha_0 + \varepsilon K \tag{1}$$

ここで、Kは $K = 2\sin\theta / \lambda$ であり、X線測定において回折

ベクトルと呼ばれている. θとλは回折角および入射 X 線の波長である. これは, Williamson-Hall の式と呼ばれ, 最小二乗による直線近似により, X線結晶粒径と不均一 ひずみをそ得る. しかし, 前述したように Fe に存在する 弾性異方性が,式(1)のみによる詳細な解析を困難にし てきた. そこで, T.Ungar らは弾性異方性を考慮して次 式を含めた X線フーリエ解析を考案した¹⁰.

$$\Delta K = \alpha + \beta K \overline{C}^{1/2} + O(K \overline{C}^2)$$
 (2)

ここで、 β とOは転位密度に関係する定数である. \overline{C} は 転位コントラスト因子と呼ばれるもので、弾性異方性を 考慮するために導入された.この \overline{C} 因子は X 線回折の 波形情報から実験的に求める場合と理論値から見積もる 場合とがあり、塑性変形状態に依存する.実験的に求め る場合には、式(2)を変形して、高次項を省略すること で式(3)を得る.

$$\frac{\Delta K^2 - \alpha^2}{K^2} \cong \beta^2 \bar{C}_{h00} (1 - qH^2)$$
(3)

ただし,

$$\bar{C} = \bar{C}_{h00} (1 - qH^2) \tag{4}$$

$$H^{2} = \frac{h^{2}k^{2} + k^{2}l^{2} + l^{2}h^{2}}{(h^{2} + k^{2} + l^{2})^{2}}$$
(5)

ここで、式(4)と(5)において、 \overline{C}_{h00} は(h00)回折面の転位

コントラスト因子であり, h, k, lは X 線回折測定で得ら れる回折面の指数である,式(l)で得られた α_b を変化さ せて,最小二乗法によるフィッティングを繰り返しなが ら,式(2)と(3)を満たすような, \overline{C} 因子, α_β および Oを決定する.次に,実験的に転位密度を見積ることが可 能な式(6)を利用し,決定した \overline{C} 因子を代入することで 転位密度を算出する.

$$\ln A(L) = \gamma - \rho L^2 \frac{\pi b^2}{2} \ln \left(\frac{R_e}{L}\right) K^2 \bar{C} + P(K^2 \bar{C})^2 \qquad (6)$$

ここで、*A(L)*はレール鋼の Fe 結晶から得られた各結晶 面での X 線波形情報を擬フォークト関数(ガウス関数 とローレンツ関数の組合せ関数)で近似した時の実部フ ーリエ係数である. L はフーリエ長さである. b はバー ガースベクトルと呼ばれる材料固有値で、Fe の場合、 0.248nm となる. Re と P は転位密度に関係する定数であ り、γは定数である. 式(6)において、フーリエ長さを変 化させて最小二乗によるフィッティングを行い、右辺第 二項を求め、第二項中の *h(L)*に対する傾きを求めるこ とで、実験的に転位密度*p*を見積もることが可能となる. 本研究では式(2)および(6)の X線結晶粒径αと転位密度ρ を転がり疲労の評価指標として求めた.

測定X線にはCuKαを用い, α-Feの各回折面のピーク 位置,積分強度や積分幅を求めた.測定した回折面は, (110), (200), (211), (220), (310)および(222)である.また, 逐次電解研磨によって深さ方向の測定を繰り返した.

3. X線フーリエ解析評価指標と微小きずの関係

X線フーリエ解析評価指標と微小きずの関係を把握す るため、二円筒試験を実施した.ここで微小きずとは、 走査型電子顕微鏡(SEM)で観察が可能な数十µm~数百 μmのきずを指す. 二円筒試験片は新品レールの頭部か ら採取し、試料の寸法は直径50mm、厚さ10mm (図-3) である.レール試料の接触面両端を面取りし、端部が過 度に加圧されないようにした. また、相手材となる試験 片は熱処理して、実車輪の硬度に調整した.表-1に試験 条件を示す. なお、すべりの付与は歯車機構であるため 公称すべり率である. また、潤滑条件はいずれも潤滑な しの大気温である. 接触圧は、実際の車輪レール接触で 負荷される圧力(0.9GPa)を基準として、3段階とした。 図-4に例として0.6GPaおよび1.2GPaの接触圧で10⁶回の試 験条件下で試験されたレール試験片の軸方向断面の走査 型電子顕微鏡(SEM)による観察結果を示す. 今回の二円 筒転がり試験ですべり率を負荷した条件下では、接触面 圧の大小によらず微小き裂が塑性フローに沿って観察さ れたが、すべり率を負荷しない条件下では転がり疲労に よる微小き裂は確認されなかった.また、塑性フローの 下部組織はパーライト組織が確認できる. 図-5は、各試 験条件で試験されたレール試験片最表面に対するX線フ ーリエ解析で得られた転位密度とX線結晶粒径を示す. すべり率が大きい試験条件では、転がり疲労の蓄積が大 きいと,転位密度が上昇し,逆にX線結晶粒径は小さく なる.上述したように、これは材料が転がり疲労によっ



図-3 二円筒転がり試験片

表-1 二円筒転がり試験条件

接触圧 (GPa)	公称すべり率 (%)	回転数 (×10 ⁴)
0.6	0	10, 30, 50, 100
0.9	0	10, 30, 50, 100
1.2	0	10, 30, 50, 100
0.6	0.2, 0.6	10
1.2	0. 2	3, 10, 100



図4 レール試験片のSEM観察結果(図中の数値は,接触面圧, 公称すべり率,回転数)

て徐々にひずんだ場合,塑性ひずみが導入され,図-1お よび図-2に示すように材料をひずませて粒径が微細化す ることを示している.白抜き凡例は,走査型電子顕微鏡 (SEM)観察において微小な転がり疲労き裂が検出された ことを示す.転位密度が10¹⁵/m²程度以上で微小き裂が形 成されていた.



売_2	レール削正試験笛所の概要
77-2	

直線/曲線	直線(ロングレール)
勾 配	7.6‰上り勾配
累積通過トン数	4.5億トン
(年間)	(19百万トン)
レール	JIS 60kg 普通レール

4. レールに形成される転がり疲労の状態評価

(1) レール削正効果検証のための試験削正

レール削正効果を検証するため、試験的にレール削正 を実施した.試験箇所の概要を表-2 に示す.当該区間 ではこれまでにレール削正を実施した履歴はない.レー ル削正試験を実施した時点の累積通過トン数は約 4.5 億 トンである.また、レール削正時点の累積通過トン数が 異なる場合の削正周期および削正量を検証するため、レ ール削正を実施する前に施工区間の一部(約 20m)を新 品レールに交換した.

レール削正車はスペノ社製8頭式(1編成)であり, レール削正量が0.1mmとなる条件として16パスのレー ル削正,0.3mmとなる条件として20パスのレール削正 の2条件を選定し,施工区間内で各25mずつ実施した.

選定したレール削正条件に対する実際のレール削正量の評価は、削正前後のレール断面形状を Mini Prof Rail

(Greenwood Engineering 社)を使用して測定し、それぞれを重ね合わせた輪郭のレール幅中心位置の差で行った. なお、重ね合わせの基準位置は、摩耗の影響が少ないレール上首部とした.また、ダイヤルゲージによって測定したレール幅中心位置の削正前後の高さの差を補正値として用いた.図6に示すように16パスの削正ではレール幅中心位置で約0.11mm、20パスの削正ではレール幅中心位置で約0.34mmであった.

(2) 試験レールの採取

レール削正試験後,一定の通過トン数が経過したレー ルについて材料解析用に各削正区間および新品レール区 間からレールを採取した.レール削正後の通過トン数が





表-3 解析レールの削正履歴および通過トン数

番号	レール	削正履歴	通トン(削正後の通トン)
1	新品	なし	0.1億トン
2	新品	なし	0.3億トン
3	新品	なし	0.5億トン
4	経年	なし	4.5億トン
5	経年	0. 3mm	4.5億(+0.1億)トン
6	経年	0. 3mm	4.5億(+0.3億)トン
7	経年	0. 3mm	4.5億(+0.5億)トン
8	経年	0. 1mm	4.5億(+0.1億)トン
9	経年	0. 1mm	4.5億(+0.3億)トン
10	経年	0. 1mm	4.5億(+0.5億)トン

約 0.1 億トン, 0.3 億トンおよび 0.5 億トンに達する時点 でレール交換を実施し,採取したレールを解析レールと した. 表-3 に解析レールの削正履歴および通過トン数 を示す.

(3) 試験片の採取

材料解析を行う試料のレール長手方向の採取位置は, 次のようにして決定した. レール頭頂面凹凸測定器 (HTR-8:原田製作所製)を用いて、解析レールの表層 について1m区間の凹凸を測定し、凹凸波形の最も高い 位置(凹凸波形図中の□枠)を採取位置とした.凹凸の 高い位置は車輪との転がり接触が強く、レール長手方向 の範囲で転がり疲労の程度が顕著に表れると考えられ、 評価するのに適切と考えた.次に、金属組織観察、結晶 方位解析およびX線フーリエ解析を行うレール幅方向の 試料採取位置は、列車通過時の車輪/レール接触位置で ある表層の幅の中心位置(レール頭頂面外観図中の白実 線部)とした.図-7および図-8に、例として解析レール 番号4(経年レール4.5億トン, 削正なし)のレール長手 方向凹凸および頭頂面の外観を示す. なお、0.1mm削正 区間のレールは熱変質層(以降、白色層と称す)の形成 が確認されたことから、これを避けることができる軌間 内側 (ゲージコーナ:GC) の表層について観察を行った.

(4) 金属組織観察および結晶方位解析

解析レールのレール頭頂面表層の塑性流動の状態や白 色層の有無を把握するため、金属組織観察を行った. 観 察位置は、上述したように列車通過時の車輪/レール接 触位置である表層の幅の中心位置および0.1mm削正レー ルのみGC側表層も観察対象とした. 観察は、レール長



図-7 試験レール番号4のレール長手方向凹凸測定結果および 試験片長手方向採取位置(図中の回位置)



図-8 試験レール番号4のレール頭頂面外観および試験片まく らぎ方向採取位置(図中の口位置)



図-9 試験レール番号2のレール長手断面の金属組織



図-10 試験レール番号2のレール長手断面の結晶方位解析結果

さ方向に平行でレール頭頂面に垂直な断面について鏡面 研摩および硝酸アルコール溶液で腐食させた後に GC 側 から光学顕微鏡を用いて行った.また,一般に転がり接 触疲労の影響を受けた金属組織の特徴として,ひずみが 導入されることにより金属組織の微細化や隣り合う結晶 粒の角度(結晶方位差角)が大きくなることが知られて いる.そこで,各解析レールについて結晶の微細化の程 度を把握するために結晶方位解析も実施した.結晶方位 解析では,試料表面上の点に照射された電子線から得ら れる回折パターンを読み取ることで,結晶の方位などの 情報を得ることができる.また,電子線を走査すること によって,二次元的な試料の方位マップが得られる.

図-9および図-10に、例として試験レール番号2の金属 組織観察および結晶方位解析を実施した結果を示す.金 属組織観察と結晶方位解析の結果から、いずれのレール も表層に塑性流動層が確認でき、車輪/レール繰り返し 転がり接触により、レール表面近傍の金属組織はひずん でおり、材料劣化が進んでいたと定性的に考えられる. そこで、図-8に示す同じ試験片採取位置から試料を準備 し、X線フーリエ解析を実施した.

(5) 各種解析レール表層の転がり疲労評価

図-11にこれまでに採取した各解析レールから切り出 したレール表層の材料劣化状態を評価するために実施し たX線フーリエ解析の結果を示す.経年レール(4.5億通 トン・試験レール番号4)は前項で確認した微小き裂が



図-11 各試験レールの深さ方向X線フーリエ解析結果

発生する転位密度付近にまで達しており、図-12に示す ように経年レールの金属組織観察結果、レール表層には 微小なき裂が確認することができた. 経年レールを 0.3mm削正したレール(試験レール番号5, 6, 7)では、 レール削正後0.1億通トン時点で新品レールから0.1億通 トン経過と大差ないが、削正後の通過トン数が増えるに 従って転がり疲労の程度は大きくなり、削正後0.5億通 トン時点で削正前の疲労状態と同程度なることが分かる. 一方, 0.1mm削正したレール(試験レール番8, 9)では, 削正後0.3億通トンで削正前の疲労状態となることがわ かる. これらのことから, 経年レールの場合, 0.3mm削 正することで新品レールを敷設した場合に予防削正とし て一般的に実施されている削正周期である0.5億通トン の削正周期を適用可能と考えられる.転がり疲労の程度 を示す評価指標であるX線結晶粒径および転位密度の両 指標においても同様の傾向であった.なお、0.1mm削正 レール(試験レール番号10)については、削正後の通過 トン数が0.3億通トン時点で削正前の転がり疲労状態に なっていることが確認されたため、X線フーリエ解析を 実施していない.



図-12 試験レール番号1のレール長手方向断面金属組織

(6) 各種解析レールの深さ方向の転がり疲労評価

試験レール番号4(4.5億トン)の車輪/レール転が り接触による材料劣化状態を、表層から深さ方向に電解 研摩をしながら、各深さ位置において X 線フーリエ解 析で評価した結果を図-13 に示す. 試験レール番号 4 に おいては、表層から 40 um 程度の深さまでは X 線結晶粒 径と転位密度の値は大きく変化し、転がり接触の影響が 大きいことが確認された.また、転がり接触の影響深さ は 1.1mm 程度であった. ここで、X線結晶粒径と転位密 度はともに X 線フーリエ解析で見積ることができる指 標で塑性ひずみ量に関係があり, 塑性ひずみが蓄積され ると X 線結晶粒径は小さく,転位密度は大きくなる. これらの転がり疲労の程度を表す二つの指標の挙動から, 表層から 0.05mm 程度までを疲労程度が著大な領域であ る領域①とし、二指標が漸減する 0.6mm までを領域② (転がり疲労の程度が大きい), それ以降から 1.1mm までを領域③(転がり疲労の程度が小さく、ほぼ母材レ ベル)に分類できると考えられる.

図-14に車輪/レール転がり接触による材料劣化状態 を、表層から深さ方向にX線フーリエ解析で評価した結 果を示す.新品レールが0.5億通トン経過した際の影響 深さ(領域①から③)は約0.35mmであり、また経年レ ールを0.3mm削正したレールが0.5億通トン経過した際の 影響深さ(領域①から③)は0.70mmであった.



図-13 各試験レールの深さ方向X線フーリエ解析結果



図-14 各試験レールの深さ方向X線フーリエ解析結果

(7) 経年レールの削正手法の検討

ここまでの調査結果から経年レール削正手法を検討した.検討を進めるにあたり、以下の2点を考慮することとした.

- レール削正試験を実施した試験レールの表面の転が り疲労状態は、比較対象とするシェリング傷の顕在 化していない経年レールの転がり疲労程度までを目 安とする。
- ② これまでに提案されてきた主に新品敷設レールに対する削正目標である 0.1mm/0.5 億通トンを考慮し、車輪/レール繰り返し転がり接触による転がり疲労の影響深さを新品敷設から 0.5 億通トン程度経過した状態に近づけるような削正を実施することで、最表面だけでなく深さ方向の転がり疲労状態も緩和する.

図-15 に、図-14(a) に示す各レールの X 線フーリエ解析 結果を再掲するとともに、転がり疲労程度の領域および 経年レールの削正手法を以下のように考えた. 今回の解 析結果を踏まえると、新品レールが敷設から 0.5 億通ト ン経過した際、レール表面から 0.3~0.4mm 程度の深



レール表層からの深さ(mm)

さで転がり疲労の影響が表れると推測される.そのため, 0.3mmのレール削正を実施すると,0.5億通トンで形成 される転がり疲労の影響をほぼ除去できると考えられる. また,経年レールを0.3mm削正し,その後0.5億通トン 経過したレールの転がり疲労深さは0.7mmであった.

これらを勘案すると、経年レールがすでに有する転が り疲労層の厚さ(1.1mm)を新品レールが 0.5 億トンで形成 される転がり疲労の影響深さである 0.3~0.4mm 程度に 減らし、レール削正後に新たに加わる転がり疲労の影響 をできるだけ軽減するためには、0.3mmのレール削正後、 0.5 億通トン経過するまでに再度 0.3mm 削正を実施する ことが望ましいと考える.この2回のレール削正で 0.7mm 弱の転がり疲労層を除去できる. 当該区間の経年 レールの転がり疲労層の全体の厚さは 1.1mm 程度であ ることを考慮すると、2回のレール削正を実施後、残存 する転がり疲労層の厚さを 0.4~0.5mm 程度にでき、そ の転がり疲労状態は領域③(ほぼ母材レベル)となると 推測される. 新品敷設レールの 0.5 億トン経過後に形成 される転がり疲労層(0.3~0.4mm 程度)よりは多少大き くなると予想されるものの、この2回の 0.3mm 削正を 実施した後に、一般的に実施されている 0.1mm 程度の レール削正作業を継続すれば、新品敷設レールに対する レール削正と同等程度の効果が得られると期待できる.

5. まとめ

レール転がり疲労に対して,新しい定量X線回折手法 (X線フーリエ解析)を利用した解析法を適用し,敷設 レールの解析から得られる評価指標(X線結晶粒径と転 位密度)を用いて,レール削正効果の検証とこれまでレ ール削正履歴のない経年レールの予防削正手法について 検討した.得られた結果を以下にまとめる.

- (1) 二円筒試験においてすべり率が大きい試験条件な どで転がり疲労の蓄積が大きい場合には、転位密 度が上昇し、逆に X 線結晶粒径は小さくなる.こ れは材料が転がり疲労によって徐々にひずんだ場 合、塑性ひずみの導入や粒径が微細化することを 示しており、今回の試験の結果、転位密度が 10¹⁵/m²程度以上で微小き裂が形成されていた.
- (2) 二円筒試験で得られた X 線フーリェ解析評価指標 と微小転がり疲労き裂の発生との関係性をもとに、 レール削正量および通トンが異なるレール表層を 解析した結果、削正履歴のない経年レールは微小 な転がり疲労き裂発生に近い状態にあること、削 正履歴のない経年レールを 0.3mm 削正したレール は削正前の疲労状態となるまで 0.5 億通トン要する ことが分かり、経年レールの削正で 0.5 億通トンの 削正周期を適用するためには 0.3mm の削正が必要 であることが分かった。
- (3) 今回評価した削正履歴のない経年レールの転がり 疲労影響深さは約 1.1mm であった.また,新品レ ールと経年レールを 0.3mm削正したものが 0.5億通 トン経過した際の影響深さ(約 0.35 および約 0.70mm)を考慮し,経年レールの削正手順として, 0.3mm削正後 0.5億通トン経過までに再度 0.3mm削 正することで,削正前の経年レールに蓄積された 転がり疲労の影響の大半を取り除くことができる と考えられる.

参考文献

- たとえば、高山宜久、山崎久彰:在来線レール削正車の 導入と効果について、日本鉄道施設協会誌、第 39 巻、第 7号、2001.
- Ishida, M., Abe, N. and Moto, T. : The effect of preventive grinding on rail surface shellings, *Quarterly Report of RTRI*, 39-3, pp.136-141, 1998.
- 3) 佐藤幸雄:新幹線レールのころがり接触面における塑性 変形挙動,トライボロジスト,36,8, p.693, 1991.
- 柏谷賢治:レール頭頂面変形層における集合組織の発達 について、材料、36、407、p.786、1987
- Y. Satoh and K. Iwafuchi: Effect of rail grinding on rolling contact fatigue in railway rail used in conventional line in Japan, *Wear*, 265, p.1342, 2008.
- M. Matsui: Evaluation of material deterioration of rails subjected to rolling contact fatigue using x-ray diffract, WEAR 304, 2013
- M. Matsui: Application of X-ray Fourier Analysis to quantification of cumulative RCF in rail, 10th International Conference on Contact Mechanics proceedings, 2015
- 8) 松原源太郎訳:新版カリティ X 線回折要論, アグネ 承風社, 1980
- J. Pesicka, R. Kuzel, A. Dronhofer, G. Eggeler : The evolution of dislocation density during heat treatment and creep of tempered martensite ferritic steels, *Acta Materialia* 51, pp. 4847-4862, 2003.
- T. Ungar, A. Borbely : The effect of dislocation contrast on x-ray line broadening, a new approach to line profile analysis, *Appl. Phys. Lett.* 69, p.3173, 1996

EVALUATION OF ROLLING CONTACT FATIGUE IN RAILS USING X-RAY DIFFRACTION

Yoshikazu KANEMATSU, Masahiro TSUJIE and Motohide MATSUI

As part of the maintenance of the railway rail, the rail grinding is carried out at a certain index for the purpose of removal of rolling contact fatigue. If it is possible to estimate the period and amount of grinding that require rail grinding to the appropriate, more efficient and cost-effective maintenance is expected. In this study, the state of rolling contact fatigue for rail grinding pattern and cumulative passing tonnage of different variety of rail evaluated by material analysis. As a result, the rolling contact fatigue influence depth of the aged rail is about 1.1 mm, and performing a 0.3 mm grinding is necessary to apply the 500MGT reduction cycle at the aged rail. In addition, we examined the grinding procedure of aged rail, which is thought to be able to eliminate most of the influence of rolling contact fatigue accumulated in aged rails.