

建材用塗装／亜鉛系めっき鋼板の接触腐食

日本鉄鋼連盟 建材薄板技術・普及委員会
基礎技術主査分化会主査／JFE 鋼板 主監
石川 博司

1. まえがき

建材用の亜鉛系めっき鋼板や塗装亜鉛系めっき鋼板は種々のpH(水素イオン指数)環境に暴露される。例えば窒素酸化物や硫化酸化物が積雪、降雨中に含まれると酸性雨や酸性雪になり低pH物質と亜鉛系めっき材料が直接接触して腐食する。更に海岸からの飛来塩分、融雪塩などが付着すると酸性物質と複合して腐食を加速させる。コンクリート土台やデッキなどで使用する生コンクリートや、畜舎、堆肥舎のアンモニアを含む尿は高pH物質であり、亜鉛系めっき材料と接触するとめっき成分が溶解し腐食する。本稿では種々のpH環境における亜鉛めっき材料の腐食の事例及び防止対策、使用する亜鉛系めっき材料の選択などについて述べる。また、工場、住宅外装部に使用される取り付け金具(ボルト、ナット、ワッシャーなど)や屋

外のドレン、ダクト、雪止めに、使用されるステンレス、アルミニウムなどの異種金属と亜鉛系めっき鋼板が接触すると腐食電位の相違によりガルバニック腐食が発生する。住宅内部では防蟻剤の銅イオンが含有されている木材と亜鉛系めっき材料と接触すると、同様な異種金属接触腐食が発生する。本稿ではこのような異種金属接触腐食の原理、腐食の事例、防止対策について述べる。

2. pH環境での接触腐食

2.1 酸性環境

日本の酸性環境は酸性雨、酸性雪(pH5.6以下)が代表的である。これらは大気汚染物質(SOx、NOx)が含まれる季節風が中国大陸から日本に飛来することが主な原因とされている。SOx(硫黄成分)のラジオアイソトープ測定で発生地域を特定できるが、中国由来とされるSOxは年間を通すと10%~30%、冬季では60%強と増加する。特に冬季に季節風が強くなる日本海側の山陰地区では硫黄酸化物の沈着量が最大となる。図-1に示すように、新潟地区で暴露したサンプルに付着する硫酸イオンは雨の洗浄効果のある上向き暴露サンプルはほとんど付着しないが、軒天、軒下を想定した下向き暴露サンプルは付着量が多く影響が大きい。図-2に示すように、亜鉛系めっき鋼板の中で55%アルミ-亜鉛合金めっき鋼板(GL)が低pH領域で腐食量が少ないことがわかる。以前、北陸地区で塗装鋼板を使用した屋根の腐食問題が顕在化した時、酸性雨、

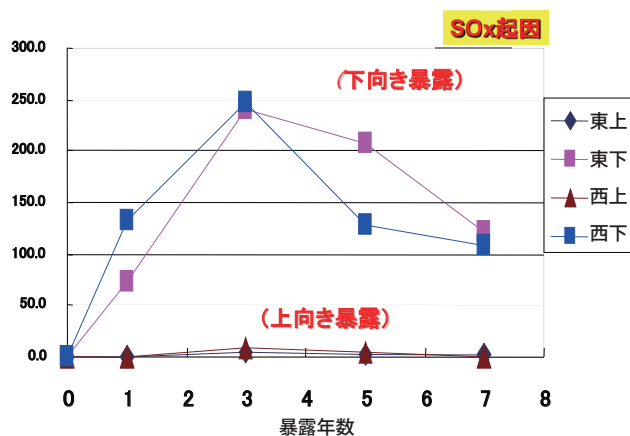
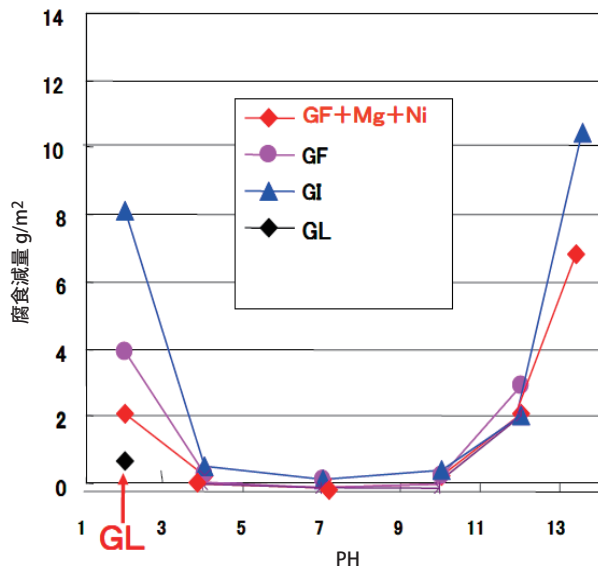


図-1 新潟地区の暴露試験による硫酸イオン付着量の経時変化

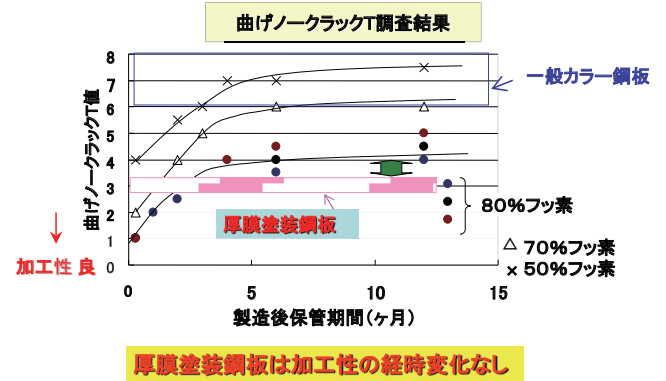


図ー２ 亜鉛系めっき鋼板の pH による腐食減量

酸性雪起因として塗装下地を亜鉛めっき（G I）から G L への変更を対策とし、改善効果を得た。また耐化学薬品性の高いフッ素塗装鋼板への使用、一般塗料（ポリエステル樹脂）の塗膜量の増加も有効である。特に特殊ポリエステル塗料を使用した厚膜塗装鋼板は既に商品化されており、ポリエステル樹脂はフッ素樹脂と比較して価格競争力があり有利性を持つ。表ー１に示すようにフッ素塗装鋼板と比較してUV透過限界膜厚が低い厚膜塗装鋼板はフッ素塗装鋼板に劣らない寿命を示す。またフッ素塗装鋼板で使用するフッ化ビニリデンは結晶性であるため、経時で徐々に結晶化が進行し塗膜内が不均一になる。これは加工など

表ー１ 各塗装鋼板の有効年数の比較

	塗膜の 消耗量	元の膜厚	UV透過 限界膜厚	有効年数 (年)
厚膜塗装	0.4～0.5	24	7	34
フッ素カラー	0.2	20	15	25
一般カラー	0.5～0.6	15	7	13



図ー３ 厚膜塗装鋼板とフッ素塗装鋼板の加工性の経時変化の比較

<GL 鋼板使用、施工後 5 年経過>



写真ー１ 牛舎の赤錆発生例（北海道）

の応力に対し局所的なひずみによるクラックを生じ易く経時で加工性が劣化する。図ー３に示すようにフッ素塗装鋼板は経時により加工性が劣化するが厚膜塗装鋼板は加工性に変わらないため長期在庫後でも使用が可能である。さらに厚膜による水分のバリアー効果も期待できるので酸性環境のみならずアルカリ環境でも有効な材料といえる。

2.2 アルカリ環境

2.2.1 畜舎、堆肥舎環境

畜舎堆肥舎環境では畜尿から発生したアンモニアガスが結露などで水酸化アンモニウムとなりアルカリ性を示す場合が多い。表ー２に示すように牛舎では pH が高い環境ほど腐食性が大であることがわかる。写真ー１は牛舎の赤錆発生的事例である。

表一 2 牛舎の各所のアンモニア濃度とGLの腐食性
 <施工3年後の物件> 岡山市

	アンモニア 濃度	結露跡	錆	穴あき	評価
測定点 1	1ppm	有り	極小	なし	○
測定点 2	2ppm	有り	有り	なし	△
測定点 3	2ppm	有り	有り	なし	△
測定点 4	3ppm	有り	有り	有り	×
測定点 5	6ppm	有り	酷い	有り	××

2.2.2 コンクリートとの接触

亜鉛系めっき鋼板や塗装鋼板は基礎工事のコンクリート型枠に使用されたり、デッキプレートなどでコンクリートと直接接触する場合がある。コンクリートが湿潤状態にある場合はセメント中の酸化カルシウムが水酸化カルシウムとなり pH は 12 前後と高アルカリ性を示し使用材料が腐食する。

(1) コンクリートとの接触腐食の事例

写真-2 にコンクリート土台の壁として塗装 GL 鋼板の角波を直張工法で施工した場合の腐食例を示す。角波を直接コンクリートに張ったことで特に角波の凹部分が裏面のコンクリートと接触しやすくなり結露などで、水分が滞留しアルカリ環境になると GL 層が腐食して孔食まで至り表面（前面）に赤錆が発生した例である。ちなみに変形部分は接触程度が軽微であったことで腐食が白錆の発生で留まっている。

(2) 腐食防止対策

貼り付け材料の「直貼り工法」は避け「通気工法」



写真-2 塗装GL製角波壁材のコンクリート接触腐食

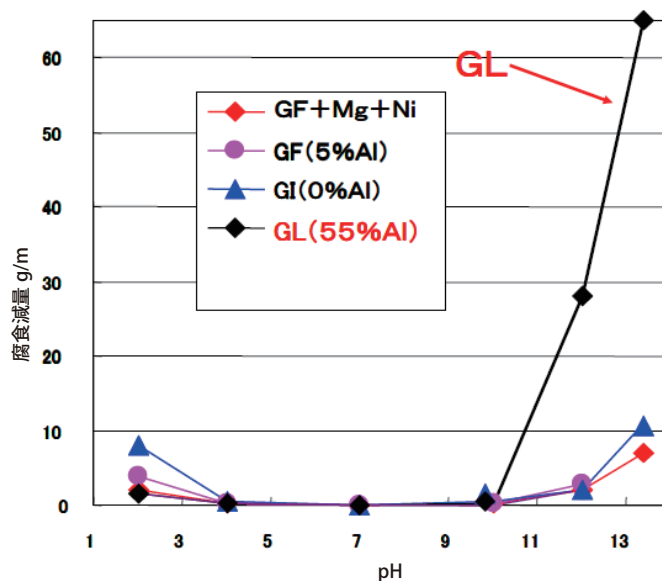


図-4 各種pHにおけるGLの腐食減量

とすることでコンクリートとの直接接触を防止する。住宅では更に透湿防水シートの使用が望ましく結露防止も期待できる。コンクリート土台の各種めっき鋼板の施工はゴムアスファルトなどのシーリングで直接接触を防止する。ちなみに上記の腐食例ではコンクリート上のゴムアスファルトシーリングにより再施工したがその後、赤錆は発生していない。

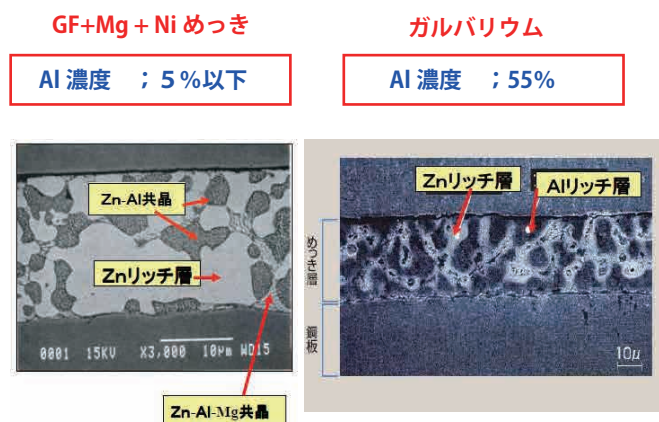


写真-3 亜鉛-アルミめっき鋼板におけるAl濃度による初晶の比較

2.2.3 アルカリ環境に適する亜鉛系めっき材料

図-4に示すように、高pH領域では亜鉛-アルミ合金めっき鋼板の中でアルミ含有率が高いGLが最も腐食しやすい。亜鉛-アルミ系めっき鋼板の中で5%アルミ（GF）に少量のMg、Niを添加したものは既述の図-2に示すようにアルカリ耐食性はGIを凌駕する。これは写真-3に示すようにAl濃度が5%を下回る亜鉛めっきは初晶でZnリッチ相が生成しAlリッチ相が生成しないので耐アルカリ性に有利と推定する。更にMg、Ni添加は耐アルカリ性能を改善する効果があると考えている。

3. 異種金属接触腐

3.1 異種金属接触腐食の原理

異種金属接触腐食は異種の金属同士が電解質中で接触し電位の低い（卑な）金属が腐食する現象でガルバニック腐食とも言うが本稿では異種金属接触腐食と称する。ときに異種金属接触腐食を電食と称することが多いが、電食とは

- (1) 電気鉄道での地中管路の腐食のような迷走電流腐食（正規の回路以外のところを流れる電流）であると定義

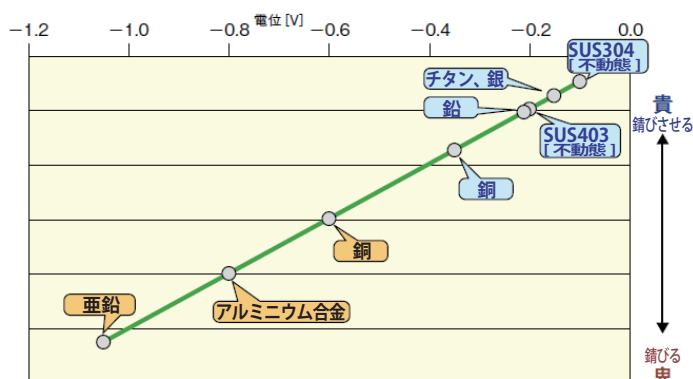


図-5 海水中の金属腐食電位列

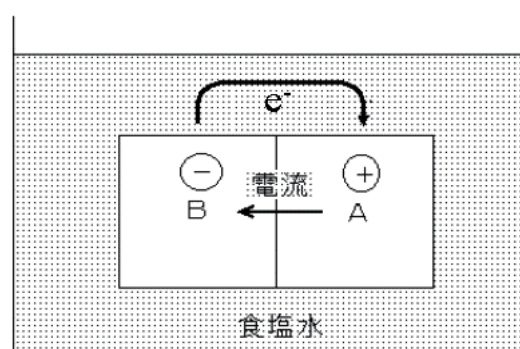
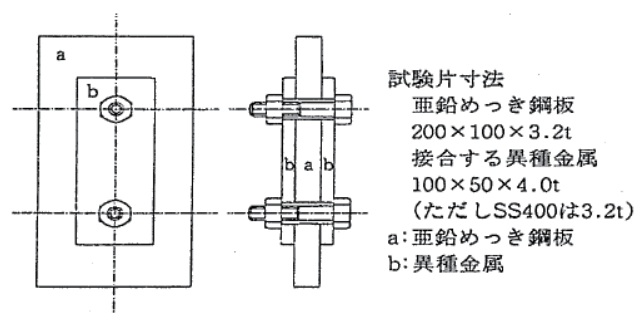


図-6 異種金属接触による腐食電流の流れ

されており、異種金属接触腐食とは異なる現象なので注意が必要である。電気化学的には接触する金属より貴な金属はカソード、卑な金属はアノードとなりイオン化し腐食に至る。たとえば図-5に示すようにSUS304、SUS430、チタン、銀、鉛、銅など金属腐食電位が貴な金属をA群とし、銅、アルミニウム、亜鉛などのような卑な金属をB群とする。A群とB群が金属的接触すると図-6に示すように腐食電流が流れる。

- (2) 異種金属接触腐食を改善する方法としては①分極抵抗を高める。（腐食環境の改善）②両金属の近接距離（間接接触）を大きくすることなどがある。



図一七 異種金属試験片の接続方法

3.2 異種金属腐食の調査

工業地帯の横浜、田園地帯の奈良の2地区で図一七に示すようにG Iに異種金属を接触させ、暴露試験し腐食減量を測定した結果を表一三に示す。考察は以下である。

- ①ブランク（G I）と比較して異種金属が接触した方がいずれも腐食量が多い。
- ②工業地帯の横浜は田園地帯の奈良と比較すると全体的に2倍以上腐食量が大きくなる。これは横浜が奈良と比較して飛来海塩粒子が多く、大気中の汚染物質なども含有するので分極抵抗が減少して腐食速度を加速するとためと推定する。
- ③横浜暴露のアルミニウム板の接触において短期（3年）では腐食量はブランクを上回るが10年の長期間暴露でブランクより腐食減量が下回る。これは長期間の暴露によりアルミニウムの不動態化皮膜が破壊し、アルミニウムの電位が亜鉛より卑にシフトしてアルミニウムの犠牲防食により亜鉛の腐食を抑制したと推定される。

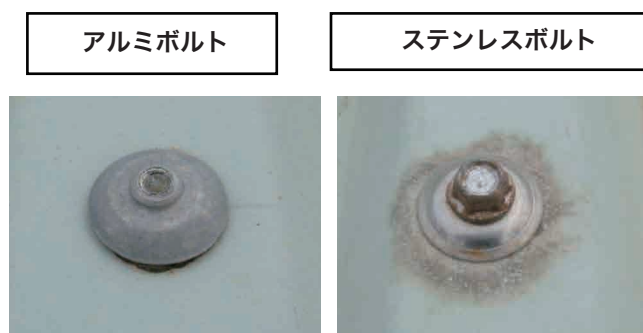
3.3 異種金属接触腐食の事例

（1）海岸地域のカラー鋼板（塗装GL）を取り付ける金具周辺の腐食事例

表一三 異種金属の組み合わせによる腐食量比較（日本溶融亜鉛めっき協会データ）

暴露場所	試験片	各暴露期間の全腐食量 (g/m ²)	
		3年	10年
横 浜	裸鋼板	27.7	119.1
	ステンレス鋼板	19.7	104.8
	アルミニウム板	20.5	89.8
	真鍮板	19.2	106.0
	ブランク	17.9	94.6
奈 良	裸鋼板	12.5	38.0
	ステンレス鋼板	9.2	33.3
	アルミニウム板	9.6	32.5
	真鍮板	9.2	31.6
	ブランク	6.5	27.2

裸鋼板（SS400）、ステンレス鋼板（SUS304）、ブランク（溶融亜鉛めっき）



写真一四 ステンレスボルト廻りの塗装GLの腐食

海岸地域では塩分により腐食が促進しやすいが写真一四に示すようにアルミ製ボルトを使用すると塗膜膨れを生じないがアルミ製でなくステンレス製（SUS430）ボルトを使用したところ下地めっき鋼板と電位差が大きくなり、塗装GLは異種金属接触腐食による塗膜膨れが生じたと思われる。

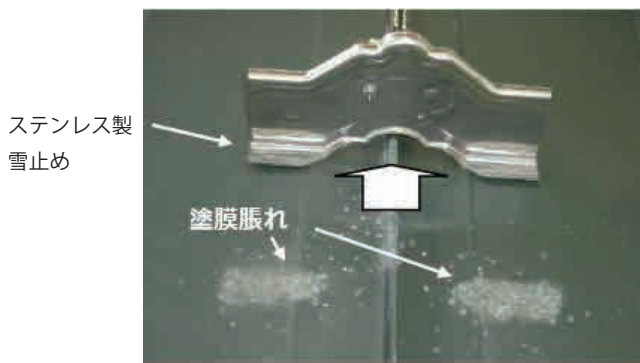


写真-5 雪止め金具（SUS430）と塗装GL腐食

（2）積雪地域の雪止め金具の接触部の腐食例

写真-5に示すようにステンレス製（SUS430）雪止め金具を使用すると金具との接触部周辺に異種金属接触腐食が発生し塗装GLの塗膜の膨れが見られる。（写真はステンレス製雪止めをはずした状態を示している）

（3）銅イオンが含まれる水分接触による腐食例

①避雷針の導線下の腐食

写真-6に示すように避雷針の導線に銅のより線を使用すると導線に雨水がかり銅イオンが溶けた雨垂れが直下の屋根に滴下し、異種金属接触腐食により錆が発生している。これは金属Cuが $\text{Cu} + 2 + 2\text{e}^-$ の反応でイオン化し水に溶解してめっき板上に滴下すると、電位が卑であるZn、Alもイオン化した $\text{Zn} + 2$ と $\text{Al} + 2$ の析出反応が加速して塗膜下腐食により赤錆が発生する。これは直接金属同士が接触していなくてもCuイオンと長期接触により異種金属接触腐

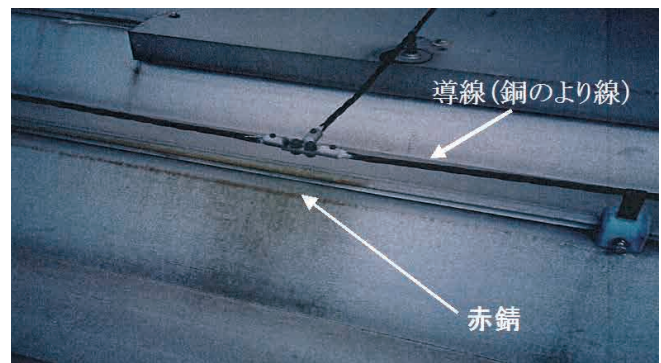


写真-6 避雷針（銅のより線）起因の塗装GLの腐食

食が発生した例である。

（4）腐食防止対策

- ①金具や付属物は比較的腐食電流が低いSUS304、アルミや、ドブ漬け亜鉛めっきしたものや塗装品を使用する。
- ②避雷針等による腐食の可能性のある部分は絶縁テープ処理、または銅線代替としてアルミ線を使用する。

3.4 防腐、防蟻処理木材との接触腐食

住宅内部の木材と亜鉛系めっき鋼板が接触してめっき鋼板が腐食する問題が顕在化したので、原因調査のため防腐、防蟻処理木材との接触腐食試験を実施した。

（1）試験材

<めっき鋼板>下記3種。

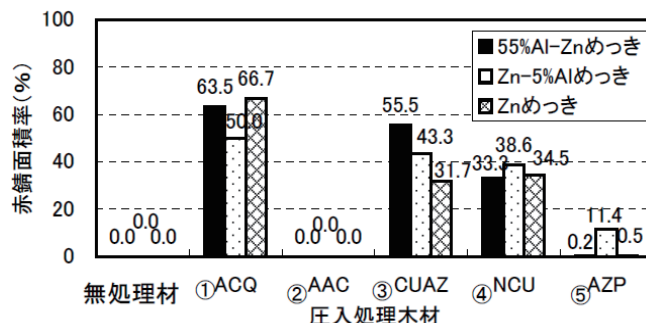
G I（溶融亜鉛めっき鋼板）；Z27

G F（溶融 Zn-5%Al めっき鋼板）；Y18

G L（溶融 55%A-Zn めっき鋼板）；AZ150

表一 4 防腐、防蟻処理木材の種類

圧入処理木薬剤（木材：米ツカ）	薬剤の略号
① 銅、アルキルアンモニウム化合物系	ACQ
② アルキルアンモニウム化合物系	AAC
③ 銅、ホウ酸、アゾール系	CUAZ
④ ナフテン酸銅系	NCU
⑤ シプロコナゾール・プロペンタフォス系	AZP



図一 8 防蟻処理木材とめっき鋼板の接触試験

＜防腐防蟻処理木材＞表一 4 に示す。

（①、③、④の木材が銅を含有している）

（2）試験結果

図一 8 に示すように ①、③、④の銅を含有する防腐防蟻剤を含む木材は接触によりめっき鋼板の赤錆発生が顕著である。また無処理剤の赤錆の発生はなく、A Z P 使用でも発錆がわずかである。以上から湿潤条件下では木材中の銅イオンが溶出、塗装膜を通してめっき皮膜の亜鉛、アルミなどのめっき成分と接触し異種金属接触腐食が発生したものと考ええる。

4. 今後の展望

（1）p H 環境での接触腐食；

水分の濡れ時間を短縮することは接触腐食の改善対策の一つである。特に積雪地域では、屋根勾配の増加や屋根形状変化（縦葺など）により降雪を容易にして濡れ時間を低減する手段もある。また塗料中にフッ素パウダー（PTFE など）を添加し降雪効果を高める降雪塗装鋼板の使用も有効である。

（2）異種金属接触腐食；

改善対策のために使用材料として水分のバリアー効果の高い塗装めっき鋼板の使用が望ましい。塗膜の中でもポリエステル樹脂膜より緻密なフッ素樹脂塗膜の使用は更に有効である。

しかしこのようなアノード側材料のみの塗装は塗膜の微小塗膜欠陥に腐食電流が集中して孔食の可能性があるため注意が必要である。接触するカソード側材料も併せて塗装することが望ましい。

＜参考文献＞

- 1) JIS ハンドブック 金属表面処理編、防錆防食用語、番号 1035；異種金属接触腐食、番号 1038；迷走電流、番号 1041；電食（2008 年版、p 134）
- 2) 腐食・防食ハンドブック 第 3 章 「異種金属接触腐食」P 69
- 3) 日本鉄鋼連盟 建材薄板技術・普及委員会の「塗装／亜鉛系めっき鋼板の接触腐食とその防止方法」
- 4) 日本防錆技術協会「防錆管理」VOL.58, No.10, 2014、塗装／亜鉛系めっき鋼板の接触腐食とその防止法、P 373

※本稿は「2016 年 第 16 回亜鉛めっき年会大会講演集・講演集」に掲載された原稿を一部修正のうえ転載いたしました。