

小樽における道路区画線工事でのリーンメソッドの活用事例

北海道土木施工管理技士会
会社名 北海道技建(株)

工務技術部長
葛西 毅
Takeshi Kasai

工務技術次長
西方 勉
Tsutomu Nishikata

工務主任
木村 健一郎
Kenichirou Kimura

1. はじめに

北海道地区における道路区画線は、通行車両のタイヤチェーンや除雪作業による損傷が激しいため、他県と比較しそのメンテナンスの頻度が高い。

損傷した区画線は、道路保安のため可能な限り早急に復旧する必要がある、同時にそれは我々の使命でもある。



図-1 小樽地区での区画線施工状況

北海道で多く採用されている、ペイントマーカー車両による区画線塗装は、区画線を形成するためのペイント（ペンキ塗料）と夜間の視認性（再帰反射）を発現するためのガラスビーズの2種類の材料により形成される。施工箇所の交通量により（常温式・加熱式）の設計塗布量の使い分けが発注者により既定されている。

ペイントには、揮発成分に有機溶剤を多く含

む溶剤型と、その使用量を削減した水性型等のラインアップがあるが、近年の国道工事では、環境に配慮した水性型ペイントが広く普及している。

これらの材料を区画線として、均一に設計塗布量を路面に定着させるには、各材料の吐出量と施工速度を同調し続ける事が不可欠なため、あらかじめ塗装機械のキャリブレーションテストを発注者立会の下で実施し、最良の塗装パターンが得られる圧力設定と、塗装速度の組み合わせを発見する事が必須となっている。また施工中は、テストで得られた決定値を保持する事が、重要な品質管理事項となる。



図-2 発注者立会による
キャリブレーション実施状況

2. 調査研究における課題

4月～7月に繁忙期を迎える、北海道での区画線工事は施工環境（外気温）が最低0℃付近から場合によっては30℃以上もの変化幅がある。これはペイントの粘度に大きく影響し吐出量を変化させることが懸念される。

また近年広く普及している水性型ペイントは、品質上、使用可能な環境条件制約（使用可能範囲 気温5℃以上 湿度80%以下）があり、特に4月中は制約境界付近の厳しい環境条件下での施工となるので、気象条件の管理が重要なファクターとなる。

以上の環境条件に加え、区画線の工種毎に割り当てられる設定項目がある。本研究において、それらを整理すると1工種当り8管理項目でそれが4工種あるので合計32項目のとなる。

筆者らは、それらの組み合わせが間違いなく実行され、施工中常時シンクロが保持され続けられているかを、明確に知る事ができない事実をリーンメソッド活用により解決する事にチャレンジした。

3. 調査研究内容

トヨタリーン生産方式の内、本研究は、『かんばん』と『あんどん』メソッドを活用した。

本研究において問題改善のサイクルは、施工（仮説の検証）→問題点の顕在化→原因追求→改善の仮説4工程により構成される。筆者らはそれぞれの工程の役割以下の通りと位置づけた。

【施工（仮説の検証）】

実施工であり、同時に【改善の仮説】の検証フィールドである。

【問題点の顕在化】

施工に存在又は、隠れている問題点を明らかにする事。過去の経験以外の問題点を顕在化するためには、施工の客観的・数値的な計測手法が必須である。

【原因の追究】

問題に対し「なぜなぜ分析」をする事。ここでは原因特定はできない。かつ特定しない。原因をリストアップする。

【改善の仮説】

原因のリストの中から、最もかんたんに原因除去ができる事案を選び、改善が成功した状態の仮説（改善の仮説）を立てる。

【仮説の検証（施工）】

仮説の改善を実行し改善策の有効性を確認する。

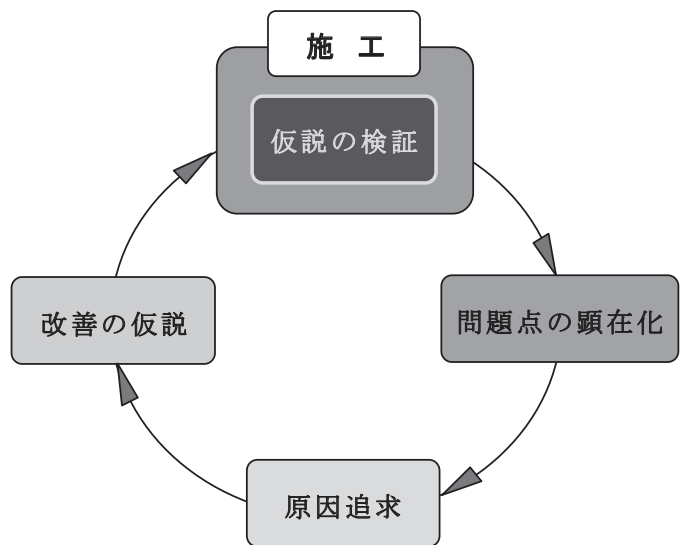


図-3 問題改善のサイクル

以上の問題改善のサイクルを行う事とした。

(1) 『かんばん』の活用の詳細

本研究において、ペイントマーカ車の設定値を変更する段取替え工種は以下の4種類となる。

- a 1 常温式 塗装幅 15cm
- a 2 常温式 塗装幅 45cm
- a 3 加熱式 塗装幅 15cm
- a 4 加熱式 塗装幅 45cm

各段取替え工種類毎に以下の8項目の変更を管理する必要がある。

- b 1 塗装速度
- b 2 1次ポンプ設定圧力
- b 3 2次ポンプ設定圧力
- b 4 ガラスビーズタンク設定圧力
- b 5 ペイント温度
- b 6 ペイント種別
- b 7 ペイントノズルチップ径
- b 8 ガラスビーズノズルチップ径

以上の段取替え項目を間違いなく変更するため、**図-3**のフローで設定変更指示書『かんばん』を回転させ、段取替えを行う事とした。

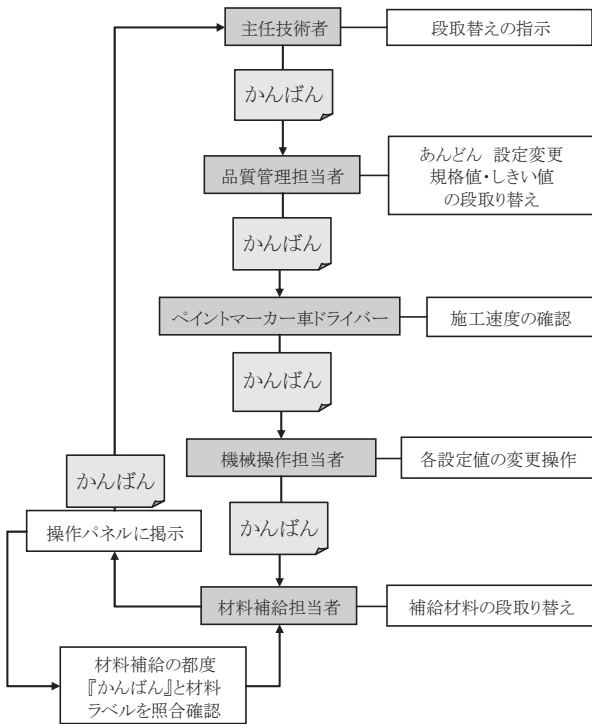


図-3 段取替え時の『かんばん』のフロー

段取替えの指示は、『かんばん』にて、主任技術者により発令され品質管理担当者に手渡される。

品質管理担当者は、『かんばん』により『あんどん』点灯のしきい値設定の変更を行い、ペイントマーカ-車ドライバーに引渡される。

ペイントマーカ-車ドライバーは、『かんばん』により、b 1 施工速度設定速度を確認し、機械操

作担当者に引渡される。

機械操作担当者は、以下の項目を『かんばん』により確認し変更する。

- b 2 1次ポンプ設定圧力
- b 3 2次ポンプ設定圧力
- b 4 ガラスビーズタンク設定圧力
- b 5 ペイント温度
- b 7 ペイントノズルチップ径
- b 8 ガラスビーズノズルチップ径

設定が完了すると、該当項目の『あんどん』が最適表示をする。ここで初回の設定変更値の照合を行う事が可能となる。引き続き『かんばん』は材料補給担当者に引渡される。

材料補給担当者は設定操作パネルに設けられた、所定位置に『かんばん』を掲示するとともに、材料を開封する都度、掲示された『かんばん』と補給材料を確認する事とした。

(1) - 1 『かんばん』活用で

顕在化した問題点

【問題点 1】

工種により変わるペイントは、全て同じ荷姿のドラム容器に収納されており、『かんばん』の照合は製品ラベルの文字照合に頼ることとなり、材料補給担当者が間違えて材料補給する可能性が有る事が判明した。

【原因追求 1】

- ・ 荷台に複数の材料が混載されている。
- ・ 判別はラベルの文字だけでしかできない。
- ・ 間違いを防止する確認プロセスが無い。

【改善の仮説 1】

- ・ 補給する材料だけが積載されている。

◎文字照合以外の判別方法もある。

- ・ 照合確認表にて管理されている。

上記の(◎印)について仮説の検証を行う事とした。

【仮説の検証1】

『かんばん』の色を材料種別で色分けし、指示に色イメージを追加する改善を実施した(図-4)。

同時に材料搬入検査時に、ドラム容器の製品ラベルに『かんばん』の色に対応した着色マーキングを行う改善も実施した(図-5)。

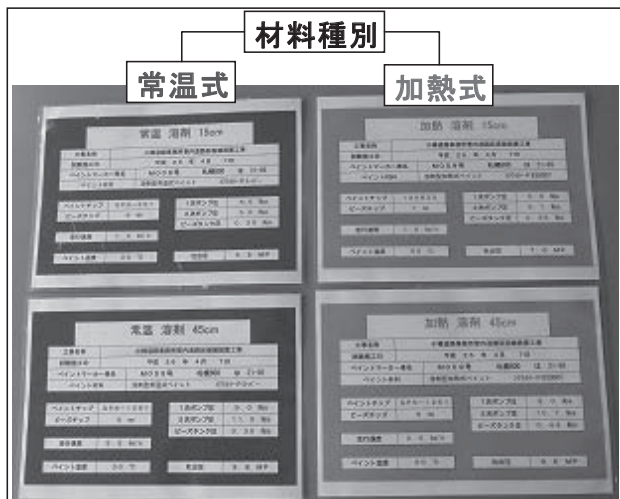


図-4 材料種別毎に色分けされた『かんばん』



図-5 材料種別毎に容器に着色マーキング

開封時に『かんばん』と色イメージ両方で照合でき材料補給の種別間違いを防止できる改善の仮説を検証した。

【検証結果1】

改善の効果が確認できた事項(○印)と新たに顕在化した問題点(×印)は以下の通りである。
○常に『かんばん』の色が目に入る位置に有ることで材料照合がしやすくなった。

○照合作業の繁雑さが緩和された。

×作業完了時に余ったペイントを再密封する際に、ふたを間違える可能性がある。

→再度 問題改善のサイクルへ。

→作業完了時に材料補給担当者が開封した材料を再密封する際は再度カラーマーキングを施すプロセス改善を実施。

【問題点2】

作業完了時に操作パネルに掲げられた『かんばん』(図-6)が作業完了後、主任技術者に返納されると、次の施工開始時にペイントマーカ車の配管内に残留しているペイント種別が不明確になる可能性がある事が判明した。

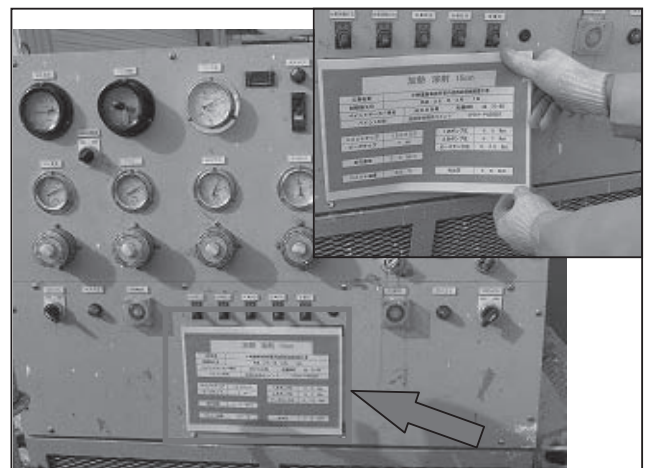


図-6 操作パネルに掲げられた『かんばん』

【原因追究2】

- ・ 作業終了時配管内にペイントが残留している。
- ・ 材料補給者が前回の作業終了時の記録を残していない。
- ・ 作業完了時に『かんばん』が撤去されるから。

【改善の仮説 2】

- ・ 日々施工開始時は配管内に塗料が残留していない。
- ・ 作業完了報告書で配管内の塗料が確認できる。

◎ 配管内の塗料が常に『かんばん』掲示されている。

上記の(◎印)について仮説の検証を行う事とした。

【仮説の検証 2】

次の段取替えが発令されるまで、掲げられた『かんばん』は返納しない。新規設定への変更完了の報告時に不要となった『かんばん』を返却するフロー改善を実施した。

管内の残留ペイントの種別を操作パネルに掲げられた『かんばん』で管理できる仮説を検証した。

【検証結果 2】

改善の効果が確認できた事項(○印)と新たに顕在化した問題点(×印)は以下の通りである。
 ○配管内のペイント種別が一目瞭然となった。
 ○在庫管理においても、材料管理表との照合が簡単になった。

×前日と同じ工種を再開する場合に「かんばん」を回すフローの変更が必要となる。(発令すべき「かんばん」が既に操作パネルに掲げられている状態となっている)

→再度 問題改善のサイクルへ

⇒各工種毎2枚の『かんばん』を作製した。

(2)『あんどん』の活用の詳細

本研究において、施工の客観的かつ数値的な計測手法を確保するため、筆者らは区画線施工支援装置 クォリティーマネージャーQMを自社開発した。

これは、既製のセンサー・記録計・PLCと『あんどん』から構成され、自社開発のアルゴリズムにて制御を行う機械装置である。

各設定項目毎に、計測値としきい値と比較し「最適」「警告」「不適合」の判定をリアルタイムで自動判定し、「不適合」判定で塗装作業を自動停止させる機能を有している。今回は、8管理項目のうち以下の4項目と環境条件2項目 計6項目を自動監視する事とした(図-7)。

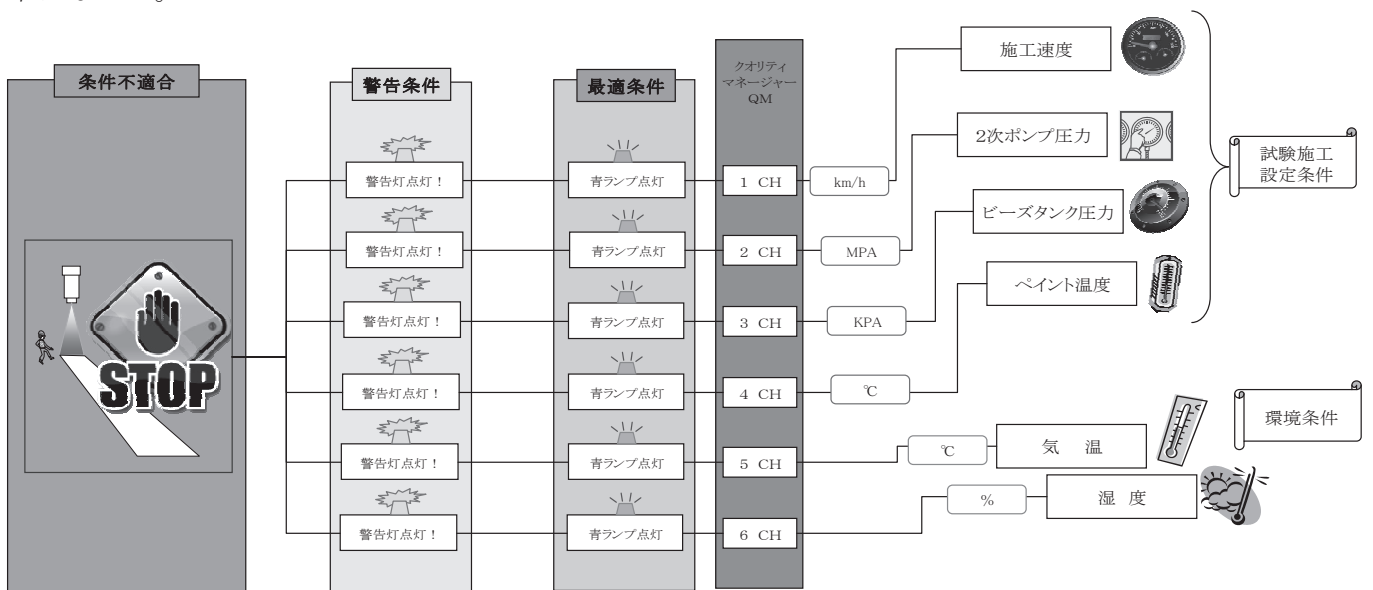


図-7 区画線施工支援装置 クォリティーマネージャーQMによるペイントマーカ車作業の自動制御概念図

- 1 CH b 1 施工速度
- 2 CH b 3 2次ポンプ設定圧力
- 3 CH b 4 ガラスビーズタンク設定圧力
- 4 CH b 5 ペイント温度
- 5 CH c 1 外気温
- 6 CH c 2 湿度

自動停止は、ペイントガンの通電回路をスイッチングすることでペイントの吐出が自動的に停止される仕組みとなっている



図6 ペイントマーカ車に設置されたクオリティマネージャーQM

(2) - 1

『あんどん』点灯のしきい値設定
各項目のしきい値の以下の通りとした(表-1)。

「塗装速度」

決定速度を基準に-0.5~0.0 (km/h) を最適範囲とし、最適範囲を下回る又は、決定速度~許容限界速度(机上計算上で設計塗布量を確保できる限界の速度)を警告範囲とし、それ以外を不適合範囲(自動停止)とした。

「2次ポンプ圧力」

決定圧力~+5%の範囲を最適とし+5%~8%を警告範囲とした。

決定圧力を下回る事は許容できないのでそれ以外の範囲を不適合とした。

「ガラスビーズタンク圧力」

2次ポンプ圧と同様の設定を行った。

「ペイント温度」

常温式・加熱式ともに-1.0~+1.0 (°C) の範囲を最適とし-1.5~+1.5 (°C) の範囲を警告としそれ以外を不適合とした。

「外気温」

6.0 (°C) 以上を最適範囲とし上昇過程における5.0~6.0 (°C) 未満及び下降過程における5.5~6.0 (°C) を警告範囲としそれ以外を不適合とした。

「湿度」

70%未満を最適条件とし上昇過程での75%下降過程での80%未満を警告としそれ以外を不適合とした。

表-1 『あんどん』点灯のしきい値設定

管理項目	上段 社内規格値(警告のしきい値設定) 下段 『あんどん』の点灯方法
b 1 塗装速度	(km/h) 試験施工決定速度 理論速度 -0.5 警告 最適 警告 NG
b 3 2次ポンプ圧力	(MP) 試験施工決定圧力 +5% +8% NG 最適 警告 NG
b 4 ガラスビーズタンク圧力	(MP) 試験施工決定圧力 +5% +8% NG 最適 警告 NG
b 5 ペイント温度	(°C) 試験施工決定温度 +1.0 -1.5 -1.5 -1.0 NG 警告 最適 警告 NG
c 1 外気温	(°C) 5.0 5.5 6.0 NG 警告 最適
c 2 湿度	(%) 70 75 80 最適 警告 NG

「その他」

塗装の状態を把握するため、ペイントガンへの通電状況をロジック電圧として同時記録する事とした。

『あんどん』は施工従事者から見やすい様に設置し各種設定の状況を確認できる様にした（図-8）。

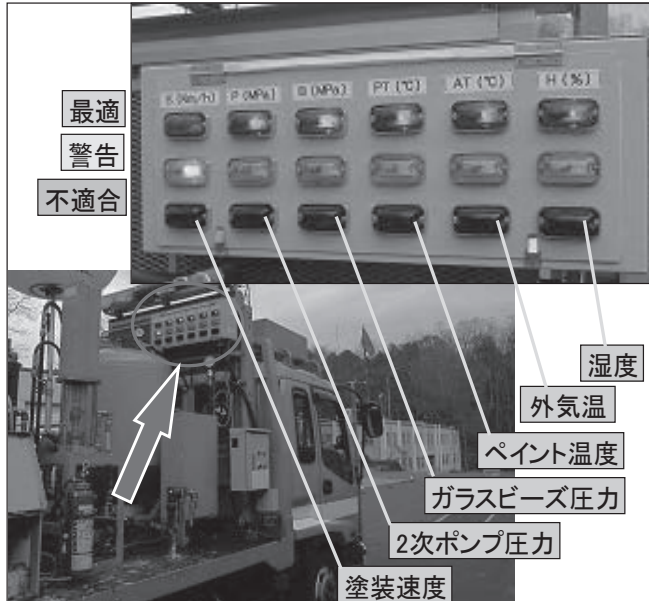


図-8 設置された『あんどん』

(3) - 2 『あんどん』活用で
顕在化した問題点

【問題点 3】

気温 10℃以下での、加熱式ペイントの温度保持が難しい事が判明した。

(不適合の自動停止 1日 5回程度 早朝時間帯の気温が低い時間帯に集中発生。)

【原因追求 3】

- ・ 熱交換機に供給されるエンジン冷却水の温度上昇が十分でないから。(エンジン回転数が低いため)
- ・ 供給するペイント温度が低すぎる。
- ・ 材料補給を急激に行ため。

【改善の仮説 3】

× 熱交換機の加熱用水温が十分に余裕があり、温度調整バルブの開放時の温度上昇レスポンスが良い。

× 補給前にペイントが目標温度近くまでプレ

ヒートされている。

◎塗料の消費速度にあわせて一定の速度で材料補給されている。

上記の◎印について仮説の検証を行う事とした。

【仮説の検証 3】

塗装作業で消費される速度に同調させて材料補給を行う改善が有効かを検証。

【 検証結果 3】

満足には至らないが、ある程度の改善の効果が確認できた事項 (△印) と新たに顕在化した問題点 (×印) は以下の通りである。

△不適合の自動停止回数の減少

5回程度/日 → 2回/日に減少。

×作業開始後直後から温度低下が発生。

→再度 改善のサイクルへ

⇒熱交換機に供給される温水回路の増設した (図-9)。

(エアーコンプレッサーのエンジンからの温水を追加する回路を増設)

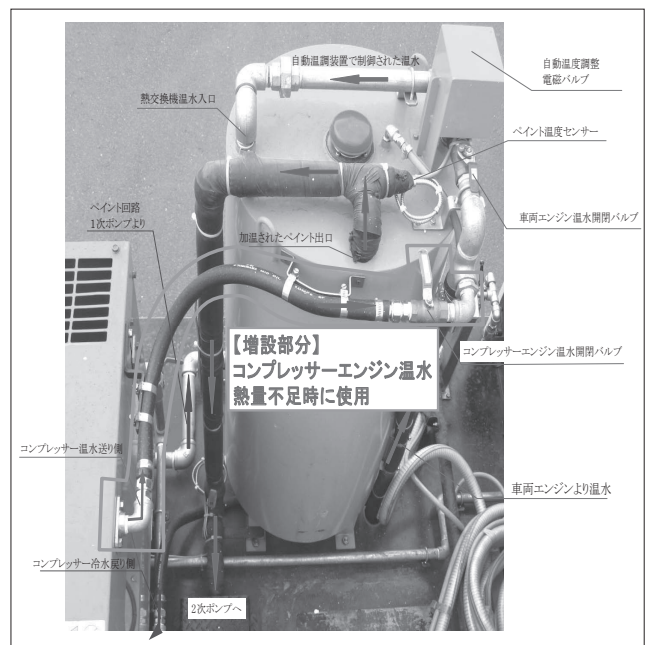


図-9 改善 (増設した温水回路)

【問題点 4】

塗装速度に対する警告回数が多い。
低速側で多発

【原因追求 4】

- ・（上限側）速度超過の無い様気をつけて少し余裕を見て施工している。
- ・ 施工中は塗装速度メータを凝視する事ができない。
- ・ 『あんどん』の点灯状況が運転席からは確認できない。（QM画面で確認）

【改善の仮説 4】

- ・ 速度超過を意識しないで、決定速度上限で走行できる。
- ◎ 塗装速度メータを凝視しなくても最適速度がわかる。
- ◎ 運転手が『あんどん』の点灯が確認できる。
上記の（◎印）について仮説の検証を行う事とした。

【仮説の検証 4】

ペイントマーカー車の運転席に警告範囲で点灯する警告ランプを設置する改善を実施。
設置した速度超過警告ランプの点灯確認により最適速度で塗装できる仮説を検証した（図-10）。

【検証の結果 4】

改善の効果が確認できた事項（○印）と満足には至らないが、ある程度の改善の効果が確認できた事項（△印）と新たに顕在化した問題点（×印）は以下の通りである。

○塗装速度メータを凝視しなくても最適範囲が判る様になった。

△ランプ設置場所には好みがある。（目障り）

×上限側での警告なのか下限側での警告なのかを施工速度メータで確認しなければならない。

→ 再度 改善のサイクルへ
⇒上限側の警告にブザー音を追加した。

⇒ドライバーの好みで警告ランプを設置位置変更できる様にマジックテープを利用した設置方法に改善した。



図-10 運転席に設置された速度警告灯

4. おわりに

区画線工事におけるペイントマーカー車の塗装作業は、他の工法と比較して作業速度が速い一方、不良品が一度発生するとその量も膨大となる。筆者らは、最近までペイントマーカー車の設定の点検を定期目視確認で行っていたが、定期確認、事後確認では異常発見までに必ずタイムラグが生じ、その間の適切な品質が確保できない可能性があり、その克服方法の検討が本研究の発端である。

今回、問題改善のサイクルがうまく回転し始めた理由があるとするならば、「施工を客観的・数値的に評価する計測手段を得られた事」である。

「発生した問題」→「経験に基づく発見」であるのに対し、「客観的な計測」→「我々がまだ至らない、知り得ない隠れたコアな問題点を顕在化する」のに有効である。例えるならば、病気にかかっている事に気付いていない患者（我々）に、的確な診断を下す。病名も明らかになる。即座に病気の原因に対する治療を

開始する。この病院の扉を開ける事がリーンコンストラクションへの入口であったと感じている。

問題改善のサイクルにおいて原因追求の次のプロセスに【改善の仮説】「最もかんたんに原因除去ができる事案を選び、改善が成功した状態の仮説（改善の仮説）を立てる。」がある。

これは

- ① 問題を先送りにしない様にする。
- ② 問題改善のサイクルを早く回す。
- ③ 最も経済的に問題解決する。

以上の効果を期待して筆者らが、リーンコンストラクションにおける「対策立案」部分をアレンジした。「最も効果的と思われる事」からは始めるのではなく、「最もかんたんに実行できる事」からは始める、これが最短・最速で目的を達成できる唯一の方法であると考えている。

またこれはリーンセオリーから大きく逸脱するプロセスではないとも考えている。

本研究の取組みよって小樽地区における区画線工事の品質向上と、作業従事者全員の施工技術の向上につながった事は明らかだが、問題改善のサイクルから得られものは、品質向上だけでなく、「施工→問題点の顕在化→原因追求→改善の仮説→仮説検証のプロセスで、日々磨かれる施工技術の進歩と成長する自分自身」それは『ヤリガイ!』。この若手技術者育成において欠かす事のできない重要アイテムを得られた事が最も大きい。我々はこれを『成長の原動力』と呼ぶ事とした（図-11）。

本研究で開発した区画線施工装置、クオリティマネージャQMは、他の現場においても活用可能と思われる。また、他業種での応用もさほど労力を要さず適用可能と思われる。

筆者らは、『成長の原動力』を止めない様に、リーンコンストラクション今後の発展と成長に注目するとともに、自社応用への挑戦と研究を継続し、区画線工事の効率化と品質向上に努めて行きたいと考えている。

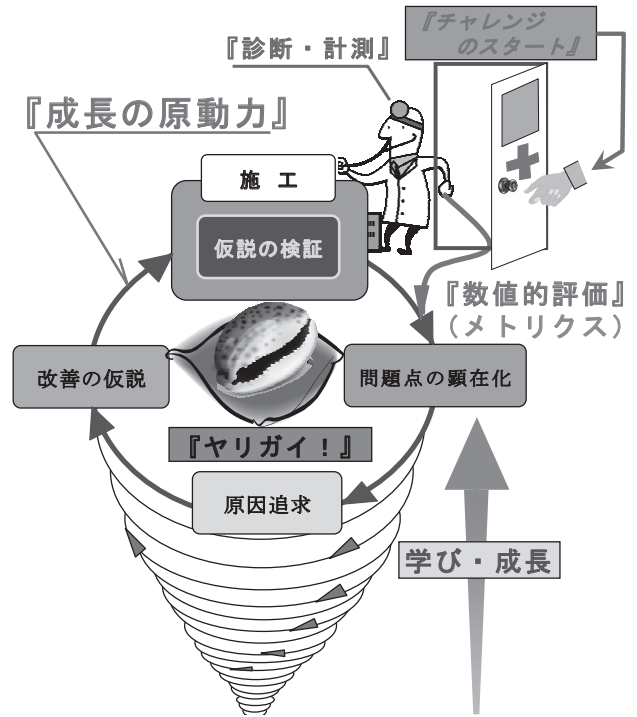


図-11 工事における『成長の原動力』のイメージ