

溶接施工要領書 (WPS) 作成エキスパートシステム

W. P. S Expert System



化工機事業部 播磨工場
新小田 満
Mituru Shinkoda

We have developed the W. P. S. (Welding Procedure Specification) expert system utilizing A. I. (Artificial Intelligence) technology to assist welding experts and designers. This system is an effective way to ensure the quality of welding, especially with regard to product cost reduction.

We hereby introduce the detailed system.

まえがき

溶接施工要領書の作成およびそのチェックを行う場合、ASME・JISなどの規格における制限事項 (Essential variables) を充分理解した上で、溶接材料の選定、冶金的特性および設備能力などを加味して検討しなければならない。かつ制限事項が非常に多いため、それらを満足するには、何冊もの図書類を参照する必要がある。したがって溶接構造物の製作に携わる溶接技術者は限定されると同時に溶接施工法の確認に多大の労力を費やしているのが現状である。

一方、情報処理の分野では、AI手法が発達し、専門家の持つ論理をこれまでのようにプログラムだけで扱うのではなくルールとして人間の考え方に近い扱いができるようになってきている。

そこで今回、WPS作成業務の効率化と溶接品質の向上を目的に、AI手法を用いた溶接施工要領書作成エキスパートシステムを神鋼リサーチ(株)(本社・東京都、秋本英夫社長)との共同開発により作成・導入したので紹介する。

1. 導入の背景

1.1 WPSの重要性

溶接施工技術は、当社で製作している压力容器・各種化学機器の他に造船・土木・建築業界など各種産業のあらゆる分野で用いられ、重要な役割を果たしている。これだけ広い分野で用いられるようになった大きな理由のひとつは、溶接構造物に対する信頼性評価技術の確立によるものといえる。すなわち、過去の数多くの貴重な失敗による反省と経験の蓄積および、それに伴う設計・施工・検査技術の見直し・整備、関連規格・基準の制定などによるところが大きい。

信頼性の高い溶接施工のためには、

- (1) 適切な溶接施工法が採用されていること。
- (2) その施工管理が確実に行われていること。

が必要であり、その目的のために各種の要領書および試験記録などが作成されている。その代表的なものに溶接施工要領書 (Welding Procedure Specification-WPS) と、施工法確認試験記録 (Procedure Qualification Record-PQR) とがある。

すなわち溶接施工者がPQRに裏付けされた適正なWP

Sに忠実に施工することが、信頼性の高い溶接施工の基本的事項となる。

換言すればPQR・WPSが信頼性の高い溶接施工にとって不可欠なものであるといえる。

1.2 WPSの作成業務

WPSの作成に当たって、溶接施工条件の決定は、各工場の経験の集約そのものというのが現状になっている。

溶接材料の選定は、母材の種類・その組み合わせ・溶接部に要求される性能などを考慮し決定される。電流・電圧・予熱・溶接後熱処理などの選定は冶金的特性・溶接姿勢などの施工方法・保有設備などを考慮して決定される。

また、溶接施工法を規制する法規・規格が定められており、それに適合するか否かのチェックも必要である。

以上の業務を遂行するには複雑かつ細かい手順が必要であり経験を有した数少ない溶接技術専門家(エキスパート)が必要とされる。また同時に何冊もの図書類を用いてチェックする必要があり多大の労力を要する。

また、WPSの作成業務では溶接施工法を規制する法規・規格にその溶接施工法が満足していることを証明するPQRの添付が必要である。そのPQRは新しく作成する場合もあるが、通常は過去に作成したものが使われる場合が多い。それゆえPQRはいわばメーカーの財産(技術的蓄積)として保管されている。そのPQRの保管・検索業務もWPS作成のための重要な業務となっている。

2. 導入に至る経緯

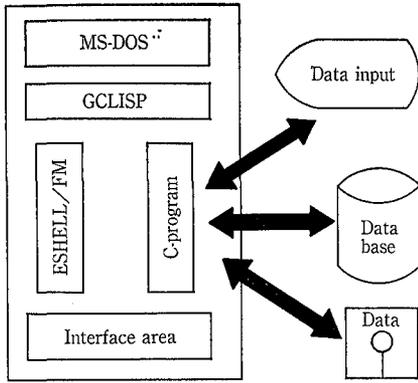
2.1 経緯

当社独自でWPS作成システムの開発に取り組んでいたが、神鋼リサーチ(株)と(株)神戸製鋼所とが共同でエンジニアリング企業の立場にたったWPSチェックシステムおよびメーカーの立場にたったWPS作成システムを開発した情報を入手した。

このシステムはASME規格を主体にして開発されたものであったが、当社ではASME規格以外に過去の蓄積してきた当社の溶接ノウハウ(溶接材料の選定、溶接方法の適用など)を組入れたシステムが必要であった。しかし人工知能(AI)手法を用いたこのシステムはそれをも可能であることが判った。

2.2 AI手法を採用した理由

WPSの作成業務およびそのチェック業務の実施にあた



第1図 システム構成
Fig. 1 System function

って前述したように溶接，材料，製作規格にわたる高度な専門知識を有する技術者が携わる必要があり，かつ多くの時間を費やしていたのでこれまでもシステム化の要求はあった。しかし規格以外にも種々の経験を盛り込む必要があるので，一般的なシステム化のアプローチである「現状分析」から始める手法はとれない。いわゆる不整構造問題が扱えるシステムが必要である。

従来，必要な論理はプログラムを組むことでしか実現できず，この種のシステムは不整構造問題に必要なプロトタイプアプローチがとれなかったり，製作規格の改訂時にプログラム変更などの追従が難しいことから，実用化されていなかった。

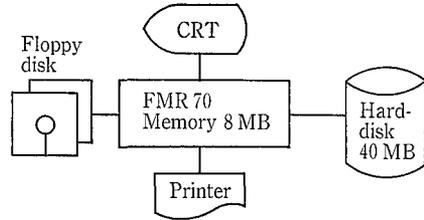
今回AI手法を用いたエキスパートシステムの採用によりそれらの問題が解決され，システム化が達成できたものである。

3. WPS作成システム

3.1 システム構成

いわゆるエキスパートシステムの骨組に従って構築されている。すなわち，知識構築ツールとしては富士通製のESHELL/FMを採用した。ESHELL/FMを採用した理由は，

- 1) でき上がった後のシステムの使われ方を考慮するとパソコン程度の安価な設備が必要であること。
- 2) ハードメカがサポートするパソコンで動く唯一の実用



第2図 設備構成
Fig. 2 Hardware configuration

的なツールであること。

- 3) 知識ベース=プログラム+データベースという考え方が従来のシステム化の(考え方の)延長上で表現することができ，わかりやすかったこと。
- である。

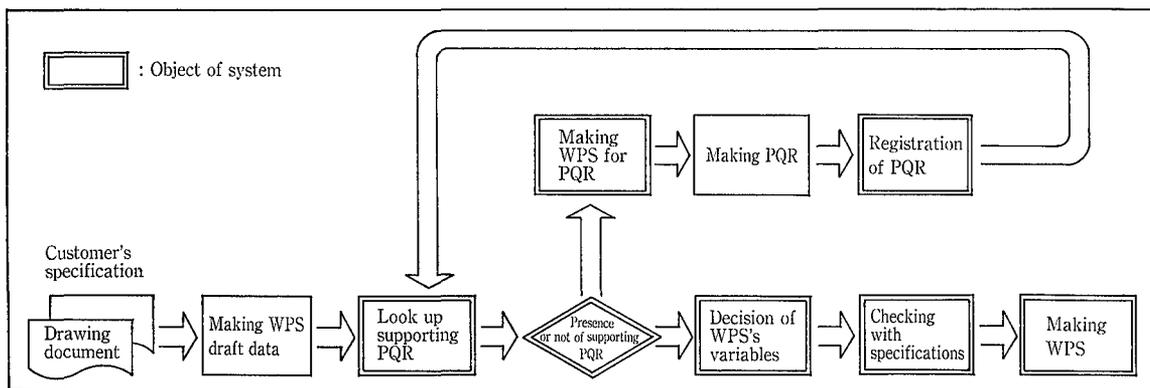
従ってハードは必然的に富士通製のFMシリーズとなった。(FMR70)

システムは，C言語によるプログラム部分と，ESHELL知識ベースの2つに分けて開発されている。知識ベースは「頭の中の推論」の表現には強くてもDB管理，データ入力については，C言語などの従来型の言語の方がはるかに強力である。C言語を選んだ理由はパソコンの主流言語で開発環境が比較的整っており，ポータビリティが良いということによる。

システム構成は第1図のとおりである。システムの最初にはESHELL知識ベースが起動され，すぐにC言語プログラムを呼ぶ。C言語プログラムで業務選択，全画面入力を行いデータベースを読み，データをチェックし，ESHELLに受け渡すデータの準備をする。準備のできたデータはESHELLに受け渡され，ESHELL知識ベースがそれを使って推論し，チェック結果を出力し，最初にもどす。このループを繰り返す。手作業でこの業務を行う場合，例えば材料や溶接棒銘柄に基づく諸データなどについては，担当者は記憶していないことが多く，まず諸データを調べ，メモに記載する準備をしてから，判断のための推論を行っている。今，C言語の段階は調べものの段階であり，知識ベースの段階は推論の段階にあたる。

3.2 設備構成

設備構成は第2図に示す。



第3図 WPS作成システム概念図
Fig. 3 Flow of building up system

3.3 処理の流れ

処理の流れを第3図に示す。

WPS作成のフローは設計部門から入手した図面に基づき、サポートPQRの検索、WPSに記載すべき各項目の内容決定、客先仕様および規格との適合性のチェック、そしてWPSそのものの作成から成り立っている。またサポートPQRがない場合には、PQRを作成するための仕様書も出力できる。

WPS作成システムの入力と出力の関係を示すと、まず、最小限入力必要項目は、WPS番号、ジョイント番号、日付などの書誌的事項、材料名、板厚範囲、溶接方法、バックガウジングの有無、PWHIT条件、層数、溶接材料銘柄などがある。入力項目が多いと操作が繁雑となり、また誤入力も多いことから、システム作成作業で特に傾注したのはこの入力項目の低減化であった。すなわち入力項目間の相関に着目し、いくつものサブプログラムを作成した。さらに、各入力項目をマニュアル・作表化して入力文字数を減らすなどの工夫をした。

操作イメージを第4図に示す。

3.4 出力結果

これらを入力することで決定されるWPSの項目には、

- 材料のPナンバー
- グレードナンバー
- 予熱条件
- 直後熱条件
- パス間温度
- 予熱の維持
- ビードテクニック
- クリーニング
- バックチップの方法
- ピーニング
- ガスカップサイズ
- コンタクトチューブ間隔
- 片側のパス数
- 電極数
- 電極間距離
- ガス流量
- オシレーション条件
- 電極棒
- 電流と極性
- アーク移行状態
- ワイヤー供給速度
- 溶材の各種区分
- ワイヤー径
- 電流範囲
- 電圧範囲
- 溶接速度範囲

などがある。
WPSのフォームとしては、A SMEの推奨フォームが一般的で

第5図 出力例
Fig. 5 Output example

はあるが、現場作業者の立場に立って、和英併記、A4サイズ1枚に納まるコンパクトなフォームとした。

そのため、ハードはカシオ製の液晶ページプリンターを採用した。

出力例を第5図に示す。

4. 利用の現状

神鋼リサーチ(株)がシステム開発したWPSチェックシステムは1987年10月から(株)神戸製鋼所エンジニアリング事業部で、WPS作成システムは1988年5月から(株)神戸

1989/08/22 13:53:04

WPSドラフトデータの登録

SC1111A

- 1 処理タイプとWPSNOを入力して下さい
処理タイプ: A:新規 M:修正 R:参照 D:削除 P:印刷 X:終了
WPS-NO: M-101 REVNO: JOBNO: 89-64-001
- *M:修正, D:削除のときは A WPS, THE WPS 共削除されます。
- 2 溶接形状タイプ、開先形状とガラスピングを入力して下さい
溶接形状タイプ: 1 BUTT
開先形状: DVB Double V Butt ガラスピング Y/N: N
- 3 溶接方法を入力して下さい(1の処理タイプが A, M の時のみ)
処理 → A:溶接方法追加 M:溶接方法修正 D:溶接方法削除

処理	溶接方法
A	01 02 03 04 05
	SAW

PF1:TOP画面 PF2:前画面 PF3:次画面

辞 英大

第4図 処理のイメージ
Fig. 4 Input example

WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)
溶接施行要領書

◆ 神鋼パナテック株式会社
SHINKO PANTEC CO., LTD.
kobe plant

JOB NO.	89-40-012			
WPS NO.	U-001			
Supporting PQR NO.				

Welding process(es) 溶接方法 SAW	DETAILS * 開先形状
Type(s) 溶接方法のタイプ Automatic	[1.0-1.6]

Welding Joint NO. 溶接継手番号 Joint Design 継手形状 Double V Butt Backing/Retainer 裏当て Backing Flux and Metal Backing Material 裏当て材料 Insert インサート -	Codes SAW: SINGLE Spacing SAW: [-] Method (mm) [inch]																																			
BASE MATERIAL 材料																																				
Material 材質 SM41B P. NO. (GR) 1(1) to 1(1) Thickness Range 板厚範囲 (mm) [inch] BUTT W. M. 番号	Action for Auto. W. tungsten 自動溶接用 - tungsten Electrode 電極 Mode of Metal Transfer (SAW) 7-7移行の状態 Wire Feed Speed SAW: 0.6-1 [23-39] (m/min) [inch/min] Current & Polarity SAW: AC 電流と極性																																			
CONDITION 溶接条件																																				
Preheat temp. SAW: 10 予熱温度 (Min) [C/F] Interpass temp. SAW: 10 板間温度 (Max) [C/F] Preheat Main Postheat 70US36	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>A.W.S. NO.</th> <th>FNO/ANO</th> <th>Size (mm) (inch)</th> <th>Amperage (A)</th> <th>Voltage (V)</th> <th>Speed (cm/min) (inch/min)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SPA5.17</td> <td>F7A2-EH14</td> <td>6</td> <td>4.0φ 0.16</td> <td>500-800</td> <td>31-37</td> <td>25-45</td> </tr> <tr> <td>SPA5.17</td> <td>F7A2-EH14</td> <td>6</td> <td>4.8φ 0.19</td> <td>500-800</td> <td>31-37</td> <td>25-45</td> </tr> <tr> <td>SPA5.17</td> <td>F7A2-EH14</td> <td>6</td> <td>4.0φ 0.16</td> <td>500-800</td> <td>31-37</td> <td>25-45</td> </tr> <tr> <td>SPA5.17</td> <td>F7A2-EH14</td> <td>6</td> <td>4.8φ 0.19</td> <td>500-800</td> <td>31-37</td> <td>25-45</td> </tr> </tbody> </table>	No.	A.W.S. NO.	FNO/ANO	Size (mm) (inch)	Amperage (A)	Voltage (V)	Speed (cm/min) (inch/min)	SPA5.17	F7A2-EH14	6	4.0φ 0.16	500-800	31-37	25-45	SPA5.17	F7A2-EH14	6	4.8φ 0.19	500-800	31-37	25-45	SPA5.17	F7A2-EH14	6	4.0φ 0.16	500-800	31-37	25-45	SPA5.17	F7A2-EH14	6	4.8φ 0.19	500-800	31-37	25-45
No.	A.W.S. NO.	FNO/ANO	Size (mm) (inch)	Amperage (A)	Voltage (V)	Speed (cm/min) (inch/min)																														
SPA5.17	F7A2-EH14	6	4.0φ 0.16	500-800	31-37	25-45																														
SPA5.17	F7A2-EH14	6	4.8φ 0.19	500-800	31-37	25-45																														
SPA5.17	F7A2-EH14	6	4.0φ 0.16	500-800	31-37	25-45																														
SPA5.17	F7A2-EH14	6	4.8φ 0.19	500-800	31-37	25-45																														

Note 注記	REV 0	Date / Sign
Welding Position(s) 溶接姿勢 F: Flat 下向き H: Horizontal 水平 VU: Vertical Up 垂直上向き VD: Vertical Down 垂直下向き O: Overhead 上向き	1	2
Pass Thickness (A*ス厚) ≤ 6mm (0.24inch) Flux Type of SAW フラックスタイプ: Neutral	2	3

製鋼所高砂工場で実務に適用されている。当社では神鋼リサーチ(株)と共に、1988年5月から開発に取り組み、本年3月完成し、この4月より実務に供され、年間約100件のWPS図書作成の強力なパートナーとしてスタートした。

利用状況を写真1に示す。

5. 効果

効果としては、WPS作成が1件につき専門家が30分から1時間かけて作成していたが、補助担当者の入力時間も含めて $\frac{1}{3}$ ~ $\frac{1}{6}$ 程度になり、その省力効果が定量効果として把握されている。

このようなWPS作成の迅速、正確化以外に既存PQRの活用推進によるコスト低減、溶接技術の継承・標準化に大きく貢献する。

6. その他の特長

エキスパートシステムを含めた技術情報システムの宿命は、情報の改訂が避けえないことである。人間のエキスパートをみてもわかるように、専門家の知識力というものは、他の者からは、はかりしれないもので、また日夜研鑽を積み、その代替をめざす当システムとしては知識ベースの追加、改廃を同等に行う仕組を如何にするかということが、システム利用上の大きな鍵となる。

それについては、神鋼リサーチ(株)が(株)神戸製鋼所グループの技術情報専門会社としての特長をいかして、継続的なメンテナンス活動を行っており、生きたエキスパートシステムとして活用するためにも、ASME規格の他、社内規準、溶接標準の改廃を行う必要がある。

7. 今後の展開

今回紹介したWPS作成システムを更に機能アップするため、現在継手図面が出力できるシステムを開発中である。ハードについても、この継手図出力に対応できるものを、当初より導入している。

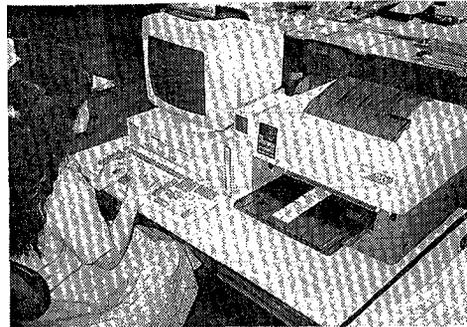


写真1 使用状況

Photo. 1 Utilizing condition

更にASME以外のJIS、高圧ガス取締法に基づく作成システムについても追加作業中である。

むすび

WPS作成エキスパートシステムにて出力したWPSが今後、当社よりユーザであるエンジニアリング会社および化学工業界の各企業へ迅速かつ正確なWPSとして提出され続けるであろう。結果、同種のファブリケーターおよびエンジニアリング企業に、WPS・PQR作成、チェックをAI手法にて行おうとする波及効果を及ぼし、しいては、当社の溶接技術のみならず、広く産業界での溶接の信頼性向上に貢献されることを希望する。

このシステム導入、開発に尽大なご協力を頂いた神鋼リサーチ(株)に心からの感謝の意を表します。

〔参考文献〕

- 1) 浜田敏夫; KSA知識情報システム事例集, Vol. 1, No. 1 (1988. 9), p. 24.
- 2) 松本, 花田, 浜田; 溶接学会誌, Vol 58, No. 3 (1989. 4), p. 5~p. 11.
- 3) 神鋼リサーチ(株); AI手法を使った溶接施工仕様書作成システム, No. SR22040, (1988).