平成21年度［2009］No54
宮崎県工業技術センター・宮崎県食品開発センター研究報告

SolidWorksのAPIを利用した展開図作成機能の開発*

外山　真也*1・塚田 美由紀*1

Study on the Program for the Sheet Metal Dvelopment with SolidWorks API

Masaya TOYAMA and Miyuki TSUKADA

本研究は，三次元ＣＡＤを利用して，展開図の作成を省力化することを目的としたものである．平成11年から15年において，動的計画法による展開図作成機能を利用して「TOMCAD」や「SolidWorks」動作可能な展開図作成コマンドを開発し，県内企業からの展開図作成に関する技術指導や相談の対応を実施してきた．しかし，SolidWorks2008年版では，このコマンドが全く機能せず，大幅な改善が必要であることがわかった．そこで，各種機能の改善と操作性を考慮し，新たに開発することにした．今回，比較的単純な形状に関しては展開図が求められるようになった．

キーワード：CAD，動的計画法，展開図，合理化，省力化

1　はじめに

筒状板金構造物における最適な展開図生成手法について検討し，動的計画法を用いた手法により，最適な展開図を求める手法を確立した．

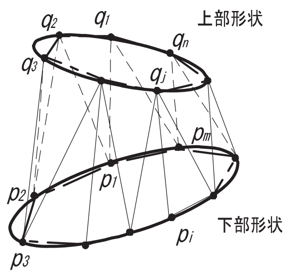

図１ 上，下部形状と側面形状の例

表１ 結線状態を示す行列X

上断面形状の点群 / 下断面形状の点群

	1	2	3	4	5	····	n
1	1	1	0	0	0	0	0
2	0	1	1	0	0	0	0
3	0	0	1	0	0	0	0
4	0	0	1	1	0	0	0
5	0	0	0	1	0	0	0
6	0	0	0	1	1	0	0
····	0	0	0	0	1	····	1
m	1	0	0	0	0	0	1

これまでに，問題を効率よく解くために，遺伝的アルゴリズムを適用し，「隣接制約パス表現」によるコード化を提案し，評価関数は，結線長さの総和と生成された側面の平滑性の評価の二つの目的関数で構成されていることを報告した．また，動的計画法を用いて最適解を，より高速で求めることが可能になったことも報告している．

板金加工を業務とする企業においては，ダクトなどの管状構造物の展開図製作は非常に重要な工程となっているが，そこで扱われる構造物の形状は多種多様である．一方，現存する展開図用ＣＡＤシステムでは，これらの多様な板金構造物の展開図には対応できていないのが現状である[1)]．また，展開図に関する研究報告も，曲げ部分を伸ばして平坦化するという個別の技術的手法に関する報告が見受けられるにすぎない[2)]のが現状である．

そこで，多種多様な形状の構造物に対する展開図の生成を単一のアルゴリズムで実現する手法の確立に向けて検討し，これまでの研究では，まず，①加工の容易さ(曲げ加工線(結線)長を短くすること)[3)]，②側面形状の滑らかさ(側面の向きの変化率を均一にすること)[5)]などが評価基準として重視されていることを明らかにした．次に，①これらの特徴量を捕らえた評価関数の導入，②多様な断面

＊　生産システムの高能率化･高精度化に関する研究(第１報)
＊1　機械電子部

形状に対応できるようにするための両断面の形状の点群近似表現の導入，③出入口 2 点間の結線の有無を決定する 0-1 最適化問題としての定式化[3)4)]，④当該最適化問題の解法としての動的計画法[4)5)]の活用等を行い，最適な展開図が生成できることを示した．

この手法を三次元 CAD(SolidWorks)に実装し，実用化することを目指す．

２　対象とする問題

気体や液体などの流体の流れを制御するダクト等の板金構造物には，必ず流体の入口と出口がある．そこで，その流体が流れる入口と出口の断面形状を定義し，その断面間の側面を構成する複数の三角形平板を生成することを考える．このとき，各断面形状は点群で直線近似された形状とする．

図１に対象とする形状例を示す．下部形状を表現する m 個の点を $p_i\ (i=1,\cdots,m)$, 上部形状を表現する n 個の点を $q_j\ (j=1,\cdots,n)$としたとき，結線する線の数は，$m+n$ 個となり，結線状態は表１の行列 $X=(x_{i,j})$で表現できる．この表は上部形状の点群を行，下部形状の点群を列方向に並べている．そして，その対応する 2 点を結線する場合は行列要素が”1”となる．

３　問題の定式化

展開図作成において，曲げ加工線の長さは短いほど好ましい．また，側面の形状において急激な凹凸の変化は少ないほうが良い．この板金構造物の展開図の結線決定問題を，結線の長さの総和 f_l と，側面の方向変化の滑らかさを評価する関数 f_v を用いて，結線状態を表す行列 $X=(x_{i\ j})$の各要素の値を決定する 0－1 計画問題として，以下のように定式化する．

$$\text{Minimize}\quad f = \alpha f_l + \beta f_v \tag{1}$$

$$f_l = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} l_{i,j}x_{i,j}$$

$$f_v = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} v_{i,j}x_{i,j}$$

$$\text{Subject}\quad \begin{aligned} &\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} c_{i,j}x_{i,j} = m+n \\ &\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} x_{i,j}x_{i+1,j} = m \\ &\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} x_{i,j}x_{i,j+1} = n \end{aligned} \tag{2}$$

ここで，目的関数の第一項 f_l は結線長さの総和を表し，第二項 f_v は側面の形状の外観を評価する関数である．$l_{i,j}$ は下断面形状の点 p_i と上断面形状の点 q_j との距離, $v_{i,j}$ は点 p_i のベクトルと点 q_j のベクトルとの方向偏差，$x_{i,j}$ は点 p_i と点 q_j とを結線するときは”1”，そうでないときは”0”となる結線状態の変数, $c_{i,j}$ は四角形化制約における探索領域を示す 0-1 定数，m は下断面形状を表現する点数，n は上下断面形状を表現する点数である．

３－１　結線長さの総和の評価（f_l）

まず，結線長さの総和 f_l について説明する．$l_{i,j}$ は，下断面形状の点 p_i と上断面形状の点 q_j との距離を求めた行列 $L=(l_{i,j})$の要素である．実際の計算においては，$l_{i,j}$ の値はすべての距離の平均値 l_{ave} を求め, その l_{ave} で除算した値を $l_{i,j}$ として使用している．

３－２　側面形状の外観の評価（f_v）

次に，目的関数の第二項の側面の形状の外観の評価 f_v について説明する．$v_{i,j}$ は，各点でのベクトル方向の偏差を求めた行列 $V=(v_{i,j})$の要素である．その計算方法は以下のようにした．まず，点群で表現された二つの各断面形状において隣接する点間を結ぶ線分による重心位置を求め，下断面形状の重心位置を X-Y 平面の原点とし，下断面形状の重心位置から上断面形状の重心位置へ向かうベクトルが Z 軸となるように座標変換を行った．次に，三点 p_{i-1}, p_i, p_{i+1} で作られる平面において，線分 $p_i\,p_{i+1}$ に直交する大きさ$|p_i p_{i+1}|$のベクトルを $n_{p\,i\,a}$，線分 $p_{i-1}\,p_i$ に直交する大きさ$|p_{i-1}p_i|$のベクトルを $n_{p\,i\,b}$ とし，$n_{p\,i\,a}$ と $n_{p\,i\,b}$ とを合成した単位ベクトル $n_{p\,i}$ を求める．同様に点 q_j における単位ベクトル $n_{q\,j}$ を求める．そして，二つの単位ベクトルの偏差 $v_{i,j}$ を (3)式で求めた(図２参照)．

$$v_{i,j} = \left|x_{npi} - x_{nqj}\right| + \left|y_{npi} - y_{nqj}\right| \tag{3}$$

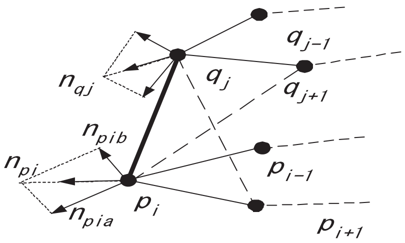

図2　Vector of　n_{pi} and n_{qj}

このとき $v_{i,j}$ を求めるにおいて側面の滑らかさの評価にZ座標の影響は少ないと考えZ座標は無視している．ここで n_{pia} は三角形側面(p_i, p_{i+1}, q_j)の法線ベクトルとほぼ同様な値となる．同様に n_{pib} は三角形側面(p_{i-1}, p_i, q_j) の，n_{qja} は三角形側面(p_i, q_{i+1}, q_j) の，n_{qjb} は三角形側面(p_i, q_j, q_{j-1}) の法線ベクトルとほぼ同様な値となる．

このようにして求められた点 p_i, q_j での各

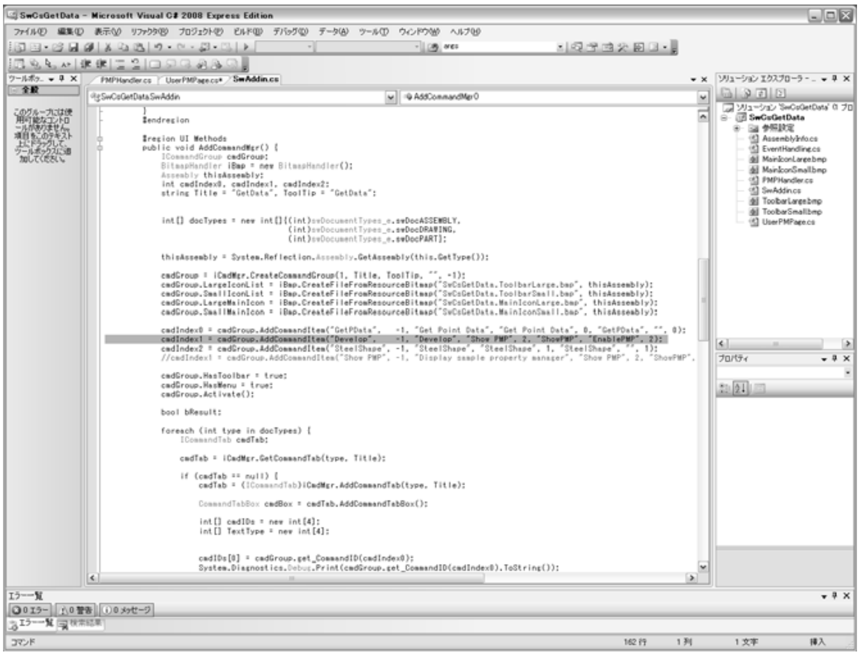

図３　API 開発のプログラムリストの一部（メニュー設定部分）

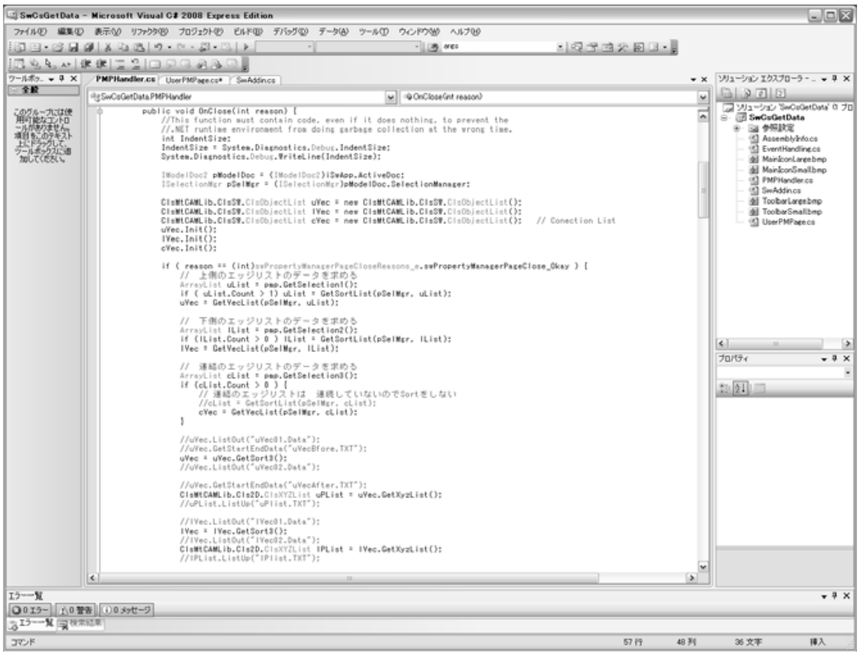

図４　API 開発のプログラムリストの一部（実行部分の一部）

ベクトルは，線分 $p_i\,q_j$ を一辺とする側面要素の四つの三角形(p_i, p_{i+1}, q_j),(p_{i-1}, p_i, q_j) 及び (p_i, q_{j+1}, q_j),(p_i , q_j, q_{j-1}) の法線ベクトルの合成ベクトルとほぼ同等のものと考えられる．結線により生成された側面の法線ベクトルの方向の変化により滑らかさを評価すべきであるが，このように各点におけるベクトルによる偏差を評価することにより，これまでにおいて２点 p_i ， q_j 間の結線状態 $x_{i,j}$ が決定されただけでは評価できない側面の滑らかさの評価を容易にすることができた．

実際の計算において，距離 $l_{i,j}$ は距離の平均値 l_{ave} で除算した値を利用しているので，$l_{i,j}$ と $v_{i,j}$ との間には大きな差を生じないので，f_l と f_v の関数値を規格化する必要も無く処理することができた．

α ，β は正または０の定数であり，二つの目的関数の加重である．これまでの研究[3][4][5]により， α=0.1 ， β=0.9 のとき適正な解が得られている．

４ SolidWorks API の開発

上記した関数を組み込み，SolidWorks(2010 年版)において実装することを試みた．開発は Microsoft Visual Studio 2008 C#を利用した．SolidWorks は API(Application Program Interface)を有し，その API を利用することでユーザー固有のコマンドを開発することが可能である．

今回，その機能を利用して開発した．そのプログラムの一部を図３及び図４に示す．

５　結果

今回の開発により作成された機能を利用して，図５に示すモデルに対して求めた展開図を図６に示す．このような単純な形状に関しては，適正な展開図を求められることが可能となった．

しかし，図７に示すように若干複雑な形状になると，図８に示すように，適正な展開図が得られない．これは，指定された形状に凹凸があり，結線状態は適正な結果が得られているのに，その結果を元に展開図を作成する際に問題が発生するので，結線状態の結果によって作成された三角形平板の展開方向の決定に考察が必要である．

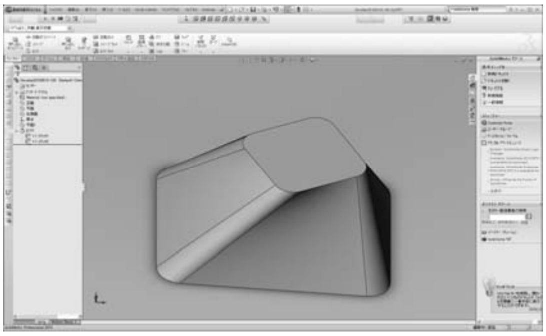

図５　展開図作成用モデル　（その 1）

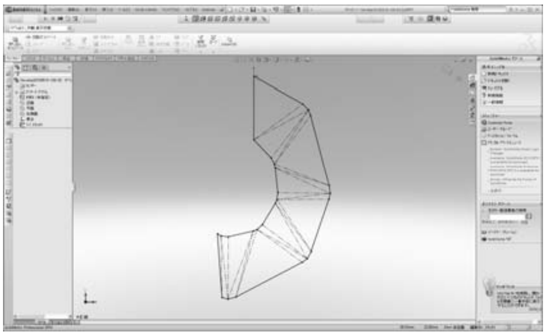

図６　作成された展開図　（その 1）

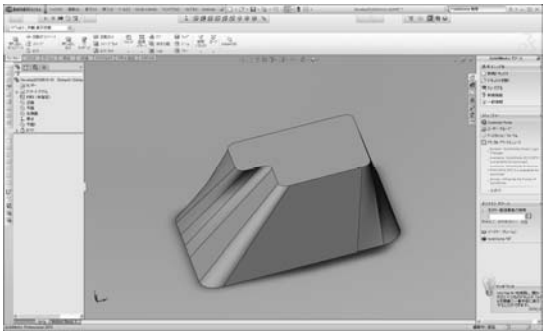

図７　展開図作成用モデル　（その 2）

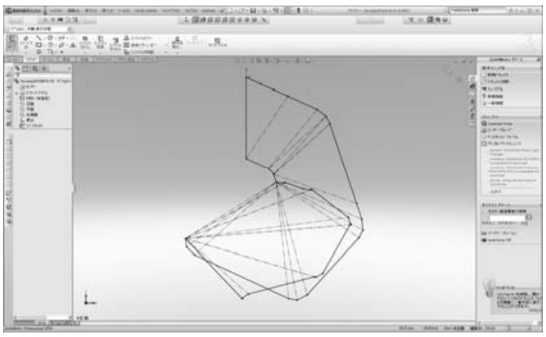

図８　作成された展開図　（その 2）

６　まとめ

これまでの研究開発において，結線部長さの総和と，側面の平滑性の評価値の加重和を目的関数

として定式化し，適正な結線状態を求められることを示した．

また，動的計画法を用いて「適正」な展開図を得ることができることを示した．

さらに，SolidWorks の API を利用して展開図の自動設計機能の開発が可能であることを示した．しかしながら複雑な形状の場合展開図の重なりが問題となるため，検討が必要である．

7　参考文献

1) 繁山 俊雄: 板金製缶 展開板取りの実際,理工学社, (1973).

2) 松永省吾:システム工学入門，東京電機大学出版局,71-91(1987)

3) 外山眞也他:遺伝的アルゴリズムを用いた板金構造物の展開図作成手法， OR 学会，**44**-3,230-250(2001)

4) 外山眞也他:動的計画法を用いた板金構造物の展開図作成のための結線決定法，日本応用数理学会，**12**-1, 45-66(2002)

5) 外山眞也，冨田重行:動的計画法を用いた最適板金展開図の自動設計システム，日本機械学会論文集(C 編)，**69**-679，256-262(2003)