

(昭和 42 年 11 月造船協会秋季講演会において講演)

船殻生産設計における数値制御システム

正員 山元洋治郎*

正員 滝澤 晃**

The Use of Numerical Control Systems in Hull Design and Production

by Yôjiro Yamamoto, *Member*Akira Takizawa, *Member*

Summary

The progress of numerical control systems has been remarkable in many industries throughout the world, not least of all shipbuilding.

Shipbuilders have long dreamt of ways of accomplishing complete automation in design and production and studies on numerical control systems are at last making this dream a reality.

Hitachi Shipbuilding and Engineering Company have developed many types of softwares for use with numerical control systems, and have succeeded in organizing these for hull production design, thus with the aid of a digital computer are now able to fair ship lines, develop mould loft settings and prepare tapes as inputs for numerically controlled tools.

Among softwares now in common use the most noteworthy is the auto programming system HIZAC (Hitachi-Zosen Auto Coding), which was developed for, and based upon the highly advanced shipbuilding techniques now used in Japan.

This offers input paper tapes to the numerically controlled flamecutters and drafters by means of a digital computer from only a few design characteristics supplied by mould loftsmen.

Details of numerical control systems and the software HIZAC are described in this paper, the lecture to be given at a meeting of the Society of Naval Architects of Japan.

1. 緒 言

1952 年の MIT (Massachusetts 工科大学) における数値制御フライス盤の実用化は工作機の自動化に新たな時代をもたらした。従来の“ならい制御”に代る新しい制御方式——機械の運動を数値的情報により制御する“数値制御”方式——がここに生れたのである。この方式はアナログ方式のもつていた欠陥を完全に一掃する可能性をもつていた。以来、急激な発展を遂げ、今日では工作機械の自動制御においてきわめて重要な地位を占めるに至っている。

この新しい自動制御技術は、欧米造船業においては、鋼材切断および作図工程に導入され、電子計算機を軸に発展してきた設計の自動化とあいまって、従来、多品種少量生産のゆえに不可能視されていた造船業における設計から生産までの完全自動化への道を切り開き、近い将来、造船界にも数値制御の時代がくることは明白になってきた。一方、国内の造船分野においては、造船現図作業のうち現図展開と呼ばれる部分のみに電子計算機を使用した数値計算方式が各社において実用化されているが、設計から生産までの数値制御方式の研究は諸外国に比して遅れていたようである。このような情勢の下で、当社においては数値制御システム（以下 NC——Numerical Control——システムと呼ぶ）の重要性を認識し、他社に先がけて、新鋭堺工場の内業切断ステージに NC

原稿受付 昭和 42 年 7 月 10 日

* 日立造船株式会社 事務管理部

** 日立造船株式会社 堺工場

システムを導入することが決定された。一般に高度な NC システムはハードウェア（電子計算機、数値制御装置、切断機）とソフトウェア（自動プログラム・システム）という二つの要素から成立っており、このうちどちらが欠けてもその実用は不可能である。当社においては、ハードウェアとして数値制御装置 ESSI と自動ガス切断機 LOGATOME を採用する一方、ソフトウェアは自社開発することに決定した。以来、約 2 年間にわたり多数の当社 NC 技術陣がこの目的のために投入され、1966 年 8 月、必要なソフトウェアとして、日本造船業の高度な設計、工作技術に立脚した技術水準を有するわが国初の造船用自動プログラム・システム HIZAC (Hitachi Zosen Auto Coding) が完成し、直ちに実用に入った。

このソフトウェアの完成と実用化によつて、生産設計能力の飛躍的增加と時数低減、切断精度の向上とけがき切断の能率、能力の向上が可能になるとともに、日本造船界は数値制御分野においても国際造船界をリードする立場を維持できたと考えられる。本報告はこの数値制御システムの概要とソフトウェア HIZAC について述べたものである。

2. ハードウェア

2.1 ESSI 装置

(1) 補間機能 ESSI で補間できる曲線の種類と、入力データとして与えるべき情報を Fig.1 に示す。

Type of Curve	Straight Line	Circular arc	Parabolic arc (Axis Parallel To Y Axis)	Parabolic arc (Axis Parallel To X Axis)
Figure				
Coordinate Components	$\pm \Delta X_i$ $\pm \Delta Y_i$	$\pm \Delta X_i$ $\pm \Delta Y_i$	$\pm \Delta X_i$ $\pm \Delta Y_i$	$\pm \Delta X_i$ $\pm \Delta Y_i$
Curve Parameters		$\pm XC_i$ $\pm YC_i$	$\pm XP_i$ $\pm YP_i$	$\pm XP_i$ $\pm YP_i$
Direction of Rotation		- = Clockwise + = Counter Clockwise	- = Clockwise + = Counter Clockwise	- = Clockwise + = Counter Clockwise
Type of Parabola			+	-

Fig.1 Curve Representation of ESSI input

(2) 補助機能 次の 23 種類がある。

プログラム終了、テープ無視開始、テープ無視終了、早送り開始、早送り終了、切断開始、切断停止、コーナー減速開始、コーナー減速終了、座標変換 8 種類、ケガキ 8 種類、左側切幅補正開始、右側切幅補正開始、切幅補正終了

(3) その他

最大処理数値 131 m
最小単位 1 mm

2.2 ロガトーム

- | | |
|----------------|-------------|
| (1) レール間隔 | 11 m 000 mm |
| (2) 切断吹管横移動可能幅 | 10 m 340 mm |
| (3) 切断可能鋼板幅 | |
| 6 枚同時切断 | 1 m 700 mm |
| 5 " | 2 m 040 mm |
| 4 " | 2 m 560 mm |
| 3 " | 3 m 420 mm |

- | | |
|------------|------------------------------|
| (4) 切断可能板厚 | 6 mm~60 mm |
| (5) 切断速度 | 0~1, 300 mm/min |
| (6) 早送り速度 | 4.0 m/min |
| (7) 誤動作対策 | 入力信号と吹管運動との同期がはずれた場合は自動停止する。 |
| (8) 切幅補正 | 切断線の右または左へ 0~3 mm |

3. ソフトウェア

3.1 開発の目的

ESSI 装置にはすでに Norway で完成された Autokon と呼ばれるソフトウェアが存在するが、当社が新たにソフトウェアを自社開発したおもな目的は次の通りである。

- (1) 設計から生産までの完全自動化の基礎を確立し、その実現を早めるため。

いうまでもなく NC の最終の目的は設計から生産までの完全自動化の実現であり、今後の自動化は図面のような具体的なものを抽象化することである。とくに、図形処理は切断システムのみならず、今後のあらゆるシステムの自動化の基礎であり、この基礎を自らの力で確立することが、設計から生産までの完全自動化の実現をより早めることになると考えた。

- (2) 生産システムの発展に対応して、ソフトウェアを発展させて行くため。

設計方式、工作法は建造コスト、納期に直接影響を与えるから、固定したものではなく、今後とも常に改良され、発展していくものである。これに対して、NC 切断システムもそれに応じてタイムリーに変化しなければ、その実用性が失われるので、ソフトウェアは常時、発展、改良させていかねばならない。ところが、既成のソフトウェアを導入しても、これを発展、改良していくためには、ソフトウェアの内容を完全に細部にわたって理解しなければならず、そのためには新しくソフトウェアを開発するのと同程度の労力と時間を要することが多い。

- (3) 日本の造船技術に立脚したソフトウェアでなければ NC の実用化はできないため。

筆者らが目的としている NC 切断システムは、従来の生産設計、けがき、切断の工程を新しいシステムで置きかえることである。この生産設計とは造船工作法を船体構造に適用して、部材の形状を決定することであつて、現在の造船技術に直接に立脚したものでなければならない。しかし、設計法と造船工作法は造船所によつて異なる部分が多く、特に海外の造船所とはその一つ一つのみならず、技術水準にも大幅な相違が見られる。このような異なる設計法、工作法、技術水準に立脚して開発された海外のソフトウェアを導入しても、そのままでは使用できない部分、不足、不便な部分が多く、その修正に多大の時間と労力を要することになる。

3.2 開発の重点

一般にソフトウェアの開発には多大の労力、時間および費用が投入されているため、またその内容がわかれば模倣されるおそれがあるため、肝心な点は公表されないのが普通である。したがつて、どのようなソフトウェアがあるかを紹介する文献はあつても、ソフトウェアをつくるために必要な、詳細な内容を述べた文献資料は皆無といつてもよい。そのため、開発途中に生じた幾多の問題はほとんど独自に解決しなければならなかつた。筆者らが特に重点をおいて工夫をこらし、労力を費やしたのは次のような点である。

- (1) 造船工作法を組み込むこと 筆者らの目的が新しい生産システムを確立することにある以上、実際の施工法に完全に適合したソフトウェアを開発しなければ実用性が失われる。すなわち、これまで熟練作業と呼ばれる人々のみがなしえた作業そのものを普遍化、抽象化して、ソフトウェアにそのすべてを組み入れなければならない。この施工法、すなわち造船工作法は、過去 数 10 年にわたる日本の造船の歴史から生れたもので、その技術水準の高さがわが国の造船業を支える大きな要素となつているのは論を待たない。

これらはその一つ一つを検討すれば、それぞれ動かしがたい論理性を有してはいるものの、そのすべてが定量化されているわけではない。したがつて、NC システムの作成に当つては、まず、その調査と定量化から始めることにした。

- (2) 処理プログラムにコンパイラとしての機能をもたせること 入力データとして電子計算機に与えられるのは一種の言語であるから、これを翻訳して、後の処理に便利な形にコード化する必要がある。すなわち、処理プログラムをつくることは一種のコンパイラを作ることにもなる。しかし、コンパイラを作る方法を示した文献はほとんどないので、一步一步、独自で開発していくことにした。

(3) 図形の処理を速く、しかも工作上必要な精度で行なうこと 処理する対象が図形そのものであるため、図形を電子計算機に処理しやすい形で記憶させることと、図形の移動、図形と図形の交点、接線などを求めることに特別の工夫を要する。しかも、取扱う数値はそのけた数に関係なしに mm の単位まで精度を保たなければならないだけでなく、入力データに一定の誤差が含まれていることを考慮して、実際に処理しなければならないかつた。

(4) エラーのチェック機構を完備すること ソフトウェアを使つて各部材のプログラムをする際には、若干のプログラム・ミスは避けられないのが当然である。そのため、すべてのプログラム・エラーをチェックし、メッセージとして出力することにした。さらに、エラーの原因を見つけるために必要な数値も出力して、以後の修正を容易にするようにした。この機構の良否はソフトウェアの運用において、その実用性の死命を制するものであるとともに、この機構が充実していればいるほど、未熟練者でもプログラムが容易になるので、万一起こるようなプログラム・ミスをもすべて網らするなど万全を期した。

3.3 HIZAC 言語

NC 用ソフトウェアは一般にプログラム言語と処理プログラムとからなる。まず、プログラム言語である HIZAC 言語について説明する。

(1) 一般

HIZAC 言語を作成するに当つて、筆者らが特に考慮したのは次の点である。

- イ. 例外なくすべての加工形状を表現しうること。
- ロ. 現在の設計法、工作法に例外なく適合していること。
- ハ. NC 切断特有の諸要素を網らしていること。
- ニ. 簡潔でしかも意味のある記号を使うこと。(覚えやすく、また、誤りを少なくするため)
- ホ. 体系化していること。
- ヘ. 計算機で処理しやすいこと。

これらの条件のうち、イ・ロ・ハはとくに重要であるが、これらを満足するプログラム言語を作成するため、通常の造船図面に現われる次の三つのタイプの図形を表現できることが必要と考えた。

- (a) 直線と円弧の組合せでできているもの。
- (b) 点群で表わされているもの。
- (c) 方程式で表わされているもの。

さらに、筆者らの目的が設計法および工作法そのものを含んだ造船部材処理用のソフトウェアを開発することであるから、次の情報源を組み入れることにした。

- (d) 船体表面を表現する図形 (Body Plan)
- (e) 船体曲面によつて、3 次元的に決定される図形 (幾何学的相貫)

船首・船尾の船側外板つきの Side Trans. のように、平行部に対して形状が全く変化しているロンジ貫通スロットを有する部材のスロット形状の計算など。

- (f) 設計標準、工作標準で標準化されているもの (マンホール、スカラップなど)
- (g) NC 加工上必要な情報 (ブリッジ、ポーズなど)

(2) HIZAC 言語の一般規則

a. 基本要素

つぎの 8 つを基本要素とし、頭文字あるいは、それに代る一字のアルファベットで表現する。

点	(Point)	P
直線	(Straight Line)	S
円	(Circle)	C
放物線	(Parabola)	U
曲線	(Curve)	K
開口	(Hole)	H
ライブラリ	(Library)	R
長さ	(Length)	L

- b. 定義番号 個々の基本要素にプログラマーがつける番号として3けたの整数を使用する。
- c. 定義 前述の8つの基本要素を定義するもので、すべて3けたの文字で形成される。
- d. パラメータ パラメータとしては、すでに定義されている定義番号、-99999 から 99999 までの整数 (長さ; mm, 角度; θ 度, $1\theta1 \leq 180^\circ$), 幾何学的判定記号, および各種番号 (Frame No, Longl No, Deck Name, Position) が許される。

(3) ステートメントの種類

ステートメントは次の通りである。

- a. 点の定義 12種類
- b. 直線の定義 7種類
- c. 円の定義 6種類
- d. 放物線の定義 2種類
- e. 曲線の定義 6種類
- f. 複合命令 (マクロ・ステートメント) 11種類
a~e を組合わせたもので, Man Hole, Air Hole, Drain Hole, Scallop, Marking Point, Slot, Bridge, Pause, Rapid Traverse Bridge などがある。
- g. 機械動作の指示 25種類
ESSI の補助機能の作動を指示する命令である。
- h. 繰り返し命令
- i. 座標変換命令
- j. 諸数値計算命令
プログラムする部材に取りつく2次部材の長さなどの計算を指示する。

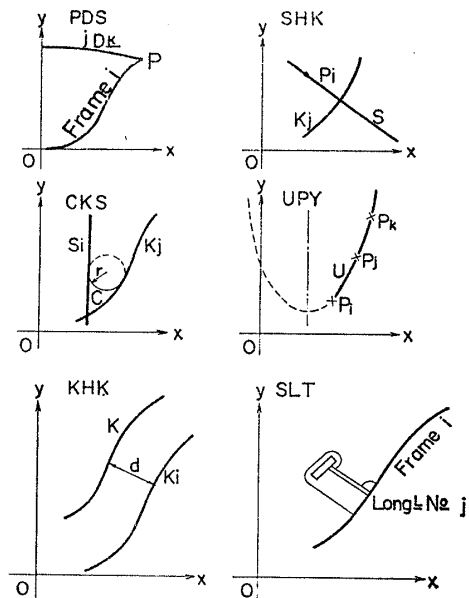


Fig. 2 Some examples of HIZAC statements

ステートメントの1例を Fig. 2 に示す。

3.4 HIZAC 処理システム

(1) 一般

3.1 で述べた HIZAC の開発目的を達成するために、その処理システムの作成は次のような方針によることにした。

- a. システムを次の二つの部分に分け、その間をデータ・テープで結びつける。
- (ア) メイン・システム (Main System)
HIZAC 言語で書かれたパート・プログラムを処理する。
- (イ) サブ・システム (Sub System)
船体形状の数式表示, スロットの形状計算などの各種設計計算を行なう。
- b. すべての図形を基本図形 (点, 直線, 円, 放物線) に分解し, 標準形に変換して取扱う。
- c. HIZAC 言語の文法を単純な記号を用いてテーブル化し, これを利用して機械的にチェックする。
- d. 入力データに含まれる2種類の数値的エラーのうち, データ作成者のミスによるものはできる限りの検出を行ない, 自動的修正が可能なものは修正し, 不可能なものはメッセージを出す。また, 読取り誤差は自動的に修正を行なう。

(2) 処理システムの概要

- a. メイン・システム
- ア. HIZAC 言語の解説 3.3 で述べた HIZAC 言語で書かれたパート・プログラムを解説して, 以後の処理に便利な形にコード化する。その際, 文法上のエラーをチェックする。
- イ. 定義計算
定義される図形の標準形を, 与えられたパラメータから計算して, 定義だけに貯える。
- ウ. 経路計算
切断経路を計算して, 点, 直線, 円, 放物線で表現する。

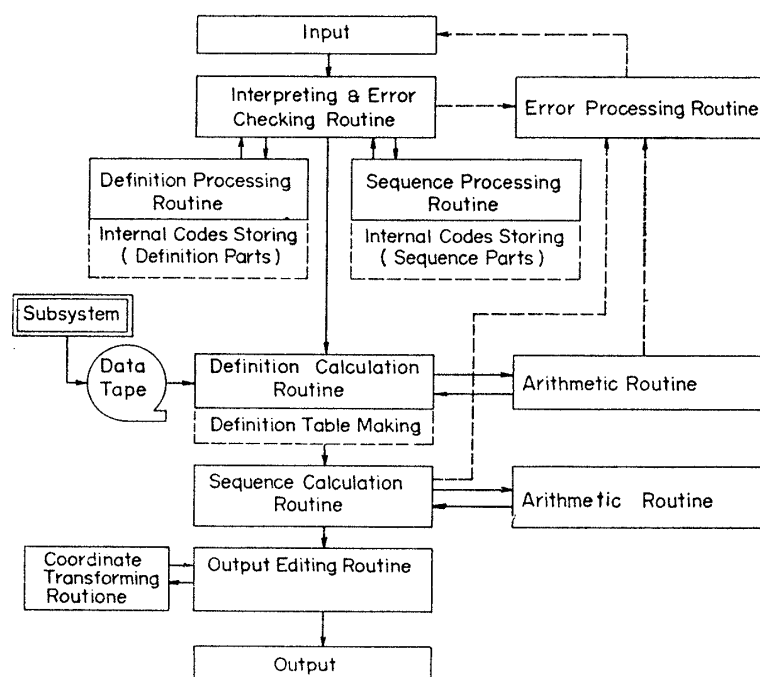


Fig.3 HIZAC main system

エ. 座標変換

切断経路上の点および円の中心の座標値をすべて新しい座標系に変換する。

オ. エラー・チェック

文法上および計算上のエラーをチェックし、適当なメッセージおよびエラーの原因を見つけるのに必要な計算結果を出力する。

カ. 出力データ編集

計算結果を ESSI に入力できる形式に編集して、紙テープにパンチする。

Fig. 3 にメインシステムの概要を示す。

h. サブ・システム

つぎの機能を有している。

ア. 入力データのチェックおよび修正

イ. フレームラインの函数近似

ウ. 幾何学的相貫計算 (スロット形状計算)

エ. データ・テープ (ライブラリ・テープ) の作成

Fig 4 にサブシステムの概要を示す。

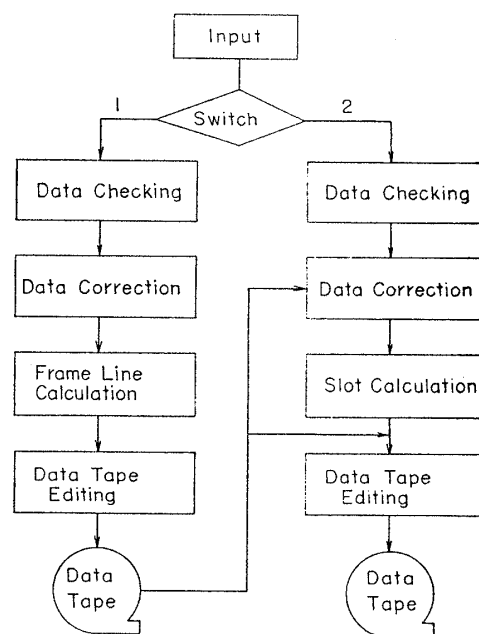


Fig.4 HIZAC sub system

4. 数値制御システム

4.1 数値制御システムの概要

Fig.5 は当社の生産設計における数値制御総合システムの概要である。

船殻設計図が出図されたら一般の内部構造部材に対し、HIZAC 言語を使用してプログラム・シートが作成される。これを HIZAC プログラム・シートと呼び、このシートの作成が従来の 1/10 原図の作成に対応することになる。Fig.6 は HIZAC プログラム・シートの一例である。このシートは一般に 10~20 行程度の短いものであるため、非常に短時間で容易に作成でき、これが当社の NC システムの特徴の一つである。

HIZAC プログラム・シートは作成後、カードへパンチし、電子計算機によつて HIZAC 処理システムで切断

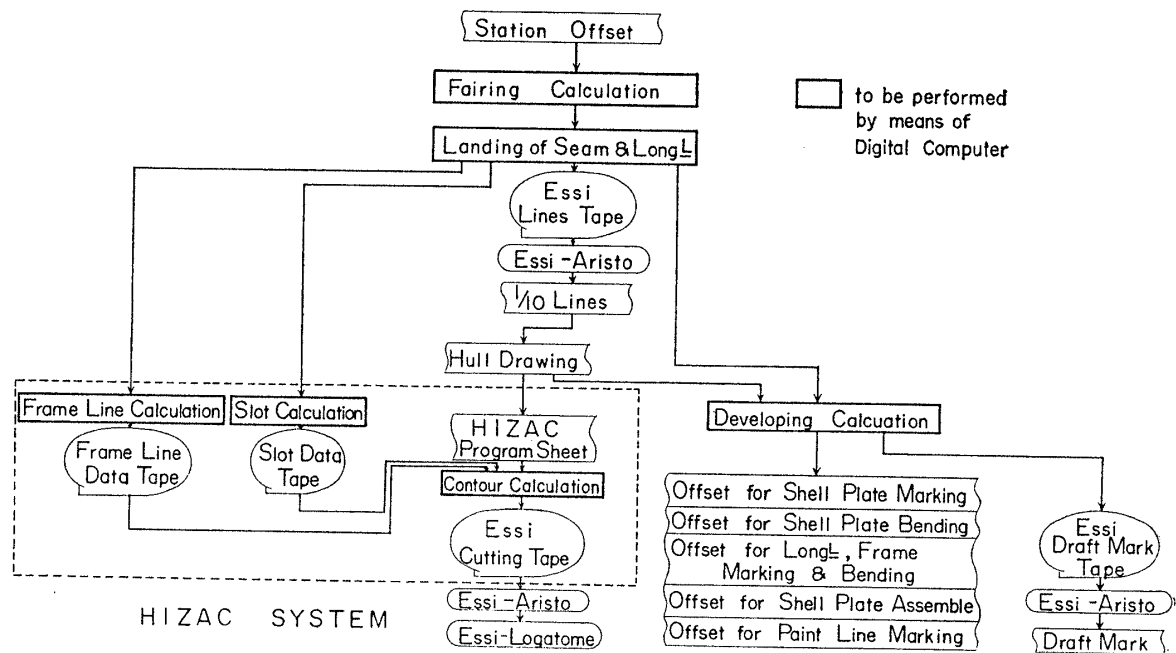


Fig.5 Organized numerical control systems for hull production stage

TITLE S.NO. 4155 2-34 TR-B											
NOTE											
	DEFNO	DEF	PARA. 1	PARA. 2	PARA. 3	PARA. 4	PARA. 5	PARA. 6	PARA. 7	PARA. 8	SEQ. NO.
1	*CAM										01
2	*DEF										02
3		K001 =	KFX(	98,	19400,	21000)					03
4		S001 =	SPP(P002,	P003)							04
5		K002 =	KHK(K001,		+X)						05
6		S002 =	SPP(	9400)							06
7											07
8	*SEQ										08
9		P001, EXN, RTN, K001,	P002, S001, P003,	K002, P004, S002,	P001, EXF						09
10											10
11											11
12											12
13											13
14											14
15											15
16											16
17											17
18											18
19											19
20											20

Fig.6 HIZAC program sheet

〔作図〕形状が計算されて ESSI の入力テープが作成される。

HIZAC の処理システムにおけるプログラム・エラーの検出方法とその情報形式は充実したものであるが、種々のエラーのうちには、電子計算機では検出できないものが発生するおそれもあるので、実際の切断に先立つて、これらすべての検出と訂正を完了しておくことが必要である。この目的のために導入されたのが自動作図機 ARISTOMAT であつて、これにより、すべての ESSI 入力テープは完成後、最終確認のための作図が行なわれている。

Fig.7 は作図された図面の一例である。

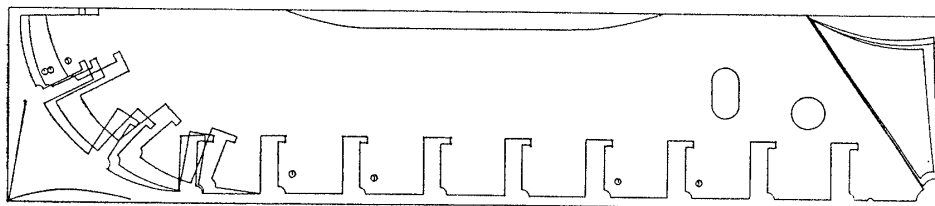


Fig.7 Profile drawing for checking

4.2 数値制御切断範囲

一般に自動切断機へ適用すべき部材は、マンモスタンカーの場合、船殻鋼板枚数の約 45% を占める内部構造複雑形状部材である。当社堺工場においてはこれらはすべて LOGATOME で処理されているが、LOGATOME 2 台に対して、ESSI 装置は一台しか設置されていないので、その全部を NC 切断することはできない。そのため ESSI-LOGATOME で NC 切断するものを、内部構造複雑形状部材の約 70% (全鋼板枚数の約 32%) にするため、次の部材に適用しており、これらはすべて HIZAC を使用し、生産設計から数値制御によつて処理している。

- (1) Bottom Trans. & Bkt
- (2) DE Trans. & Bkt
- (3) Vertical Web & Bkt on Longl Bhd
- (4) Web Stiff, Horizontal Girder & Bkt on Trans. Bhd
- (5) Side Trans. & Bkt
- (6) Floor & Bkt in Double Bottom

なお、近く設置を予定している ESSI 2 号機の稼働が開始すれば、残りの内部構造複雑形状部材も NC 切断される。

5. 数値制御方式の効果

5.1 総 括

一般にまったく新しい作業方法を導入する場合には、その作業方法を基礎にした種々の大規模な作業システムの確立と実用化を経て、初めて大きな効果が実現できるので、それまでには相当の年月が必要であることは、戦後の溶接の採用による造船業の発展過程をみても明らかである。今回当社で実用化された生産設計から切断までの数値制御システムについても、まったく同様のことがいえるわけで、現在までに得られているその効果は年月の経過とシステムの完成過程につれてはてしなく拡大していくことが予想される。しかしながら、1966 年 8 月の実用開始後、現在までの短期間の間にも、予想を大幅に上まわる効果が掌握されているので、以下これについて報告する。

5.2 生産設計能力の増大

従来の 1/10 縮尺現図においては、LOGATOME 原図の作成作業はその大部分を高度な熟練作業者に依存していた。そのため、生産設計の生産能力は熟練作業者の在籍数によつて制限されており、常時、工場生産量拡大のネックとなつていた。しかし、数値制御方式の実用化によつて生産設計作業の分業化が可能になり、熟練を要する作業はその 30% 程度に分離された。また、残りの 70% の作業はプログラムが容易であるため、まったくの未経験者でも 10 日程度の訓練を行なうことにより、熟練者と同程度の能率で行なうことができる。したがつて、未経験者を投入すれば、生産設計の生産能力を従来の約 2 倍までには容易に増大することができるようにな

つた。なお、この効果は生産設計部門のみでなく造船を含むあらゆる設計部門でも期待できる。

5.3 生産設計の時数低減

HIZAC を使用する生産設計作業においては、従来の 1/10 縮尺現図作業に比べて、1 隻当たり約 3,000 時間の時数が低減した。なお、この時数の低減量はシステムの実用化が進むにつれて増大することが予想される。

5.4 NC 切断範囲の拡大

NC 切断のためのソフトウェアである HIZAC の実用によつて、当然のことながら、全面的な NC 切断が可能になるため、次のような効果が期待できる。

(1) 切断精度と切断品質の向上 従来の拡大切断方式では、1/10 原図の誤差のほかに、光学系の追跡誤差、機械的誤差を含み、 $\pm 2.0 \sim 2.5 \text{ mm}$ の切断誤差はさけられなかつたが、NC 切断ではこれらは $\pm 0.5 \text{ mm}$ 以下となる。

また、従来光学系の追跡においてはさけられなかつた切断機の振動が発生することはないので、常時美麗な安定した切断線を得ることができる。

なおこれらは具体的には、部材の精度向上による取付、溶接作業の定常化、合理化をもたらすことになる。

(2) 切断誤作の減少 光学系追跡方式ではさけられなかつた追跡線の選定間違い、墨の濃淡による誤動作などの起こる心配がないので、切断テープの選定以外には切断誤作は発生しない。

(3) けがき、切断の能力の向上と時数低減 NC 切断の採用により、光学系追跡方式の場合に対して、切断能率が 15% 向上するのみならず、従来の技術者の夢であつた切断機有効幅を十二分に活用する同時切断、装備吹管を全部使用する多火口切断を始めとするまったく新しい切断方式の実現と、自動切断機の処理能力の飛躍的向上を可能ならしめた。

6. 結 言

わが国で始めて開発された造船用ソフトウェア HIZAC の概要と生産設計から切断までの数値制御システムについて報告した。

最後に、ハードウェアの導入と数値制御システムの推進を図られた日立造船株式会社福田英夫船舶事業部長、氏家正三堺工場長、川井源司堺建設部長、菊田善三事務管理部長に衷心から敬意と感謝を捧げます。

また、HIZAC を含む各種のソフトウェアと実用システムの作成は、日立造船本社、ならびに、各事業所の専門技術者で構成された当社数値制御グループのチーム・ワークによるものであることを付記する。