

鋼構造物構造解析プログラム：ADAMS- V

AIJ Design Analysis & Modules System Version V

山口 大 輔	原子力セクター配管設計部	
洪 欽 賢 一	原子力セクター配管設計部	主幹
金子 尚 昭	原子力セクター配管設計部	主査
金 井 太 郎	原子力セクター営業部	
井 上 智 臨	原子力セクター配管設計部	

ADAMS- Vは汎用構造解析コード SAP- Vをソルバとして、原子力プラントに設置されている大型鋼構造物および配管支持構造物の構造解析に特化して自社開発したプログラムである。当社では大型鋼構造物および配管支持構造物の構造解析を、信頼性が高く効率的に行えるように、40年以上にわたり ADAMS の開発・改良を進めてきた。特に、自社開発の鋼構造物設計システム LUNA (3D-CAD), 配管設計システム INPULS (3D-CAD), 配管構造解析プログラム ISAP との連携、および GUI (Graphical User Interface) の全面的導入によって鋼構造物の耐震性評価を短期間で実行可能とした。また、本プログラムは将来的に ASME NQA-1 の要求を満たすことを目標として開発している。

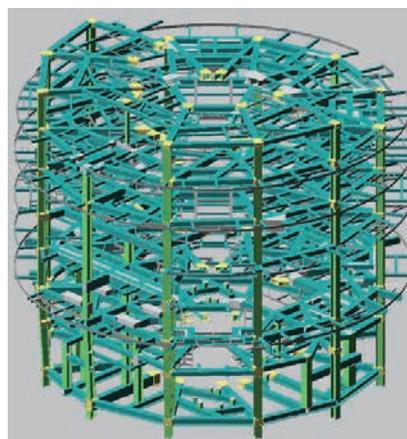
ADAMS-V is a structural analysis and stress evaluation program based on SAP-V for the large structure and piping support in nuclear power plants. We have continued to improve ADAMS over the past 40 years. Not only linking this program with LUNA (3D-CAD structure design system), INPULS (3D-CAD piping design system) and ISAP (integrated structural analysis program for piping design) but also enhancing GUI (Graphical User Interface) has allowed analyzing and evaluating with high quality and efficiency in a short period. In addition, this program is being developed to meet the ASME NQA-1 requirements.

1. 緒 言

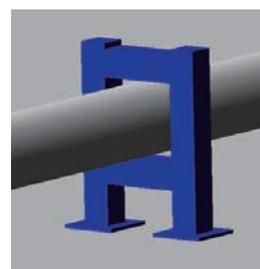
我が国の原子力発電所における耐震設計の基本方針は、1978年に「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（原子力安全委員会）が策定された。以降、現在の原子力規制委員会規則に至るまで繰り返し見直され、既存の発電所設備においてはその都度、健全性の再評価と補強・改造工事が要求されてきた。このため、当社は主として原子炉の配管系と鋼構造物の健全性再評価および補強改造をエンジニアリングの範囲としてきた。第1図および第2図に示す大型鋼構造物や膨大な物量となる配管支持構造物（サポート）の評価を、複数プラント同時並行で対応する必要性が生じたことから、業務の高効率化と解析評価の品質向上を主眼として自社開発の構造解析ソフト ADAMS の機能拡張・改良を進め、ADAMS- Vへ発展させた。

2. 経 緯

原子力プラントの大型鋼構造物の構造解析は、建設初期の時代 ICES/STRUDL をソルバとした自社開発の ADAMS



第1図 LUNA⁽¹⁾による大型鋼構造物
Fig. 1 Large steel structure by LUNA⁽¹⁾



第2図 INPULS⁽²⁾による配管支持構造物
Fig. 2 Piping support by INPULS⁽²⁾

を用いて、AIJ（一般社団法人日本建築学会）鋼構造設計規格に基づく評価を行ってきた（ADAMS- I, II）。サポートについても、通商産業省（現、経済産業省）告示501号規格に基づく評価プログラムを自社開発し解析を行ってきた（ADAMS- III）。その後、ソルバをISAP⁽³⁾でも使用しているSAP-Vに切り替え、大型鋼構造物およびサポートの解析・評価に対してJSME（一般社団法人日本機械学会）設計・建設規格、JEAG（一般社団法人日本電気協会）規格に対応したNEWADAMSが開発された。

最新バージョンであるADAMS-Vでは、お客様の品質要求を損なうことなく短納期要求に応えるため、以下の点に注力し開発を進めた。

- (1) 入力データ作成負担の軽減と解析結果を一覧で可視化できるユーザインタフェースを実現した。
- (2) 解析評価の高度化・詳細化へ対応するために、大型鋼構造物においては画面上での荷重編集、解析モ

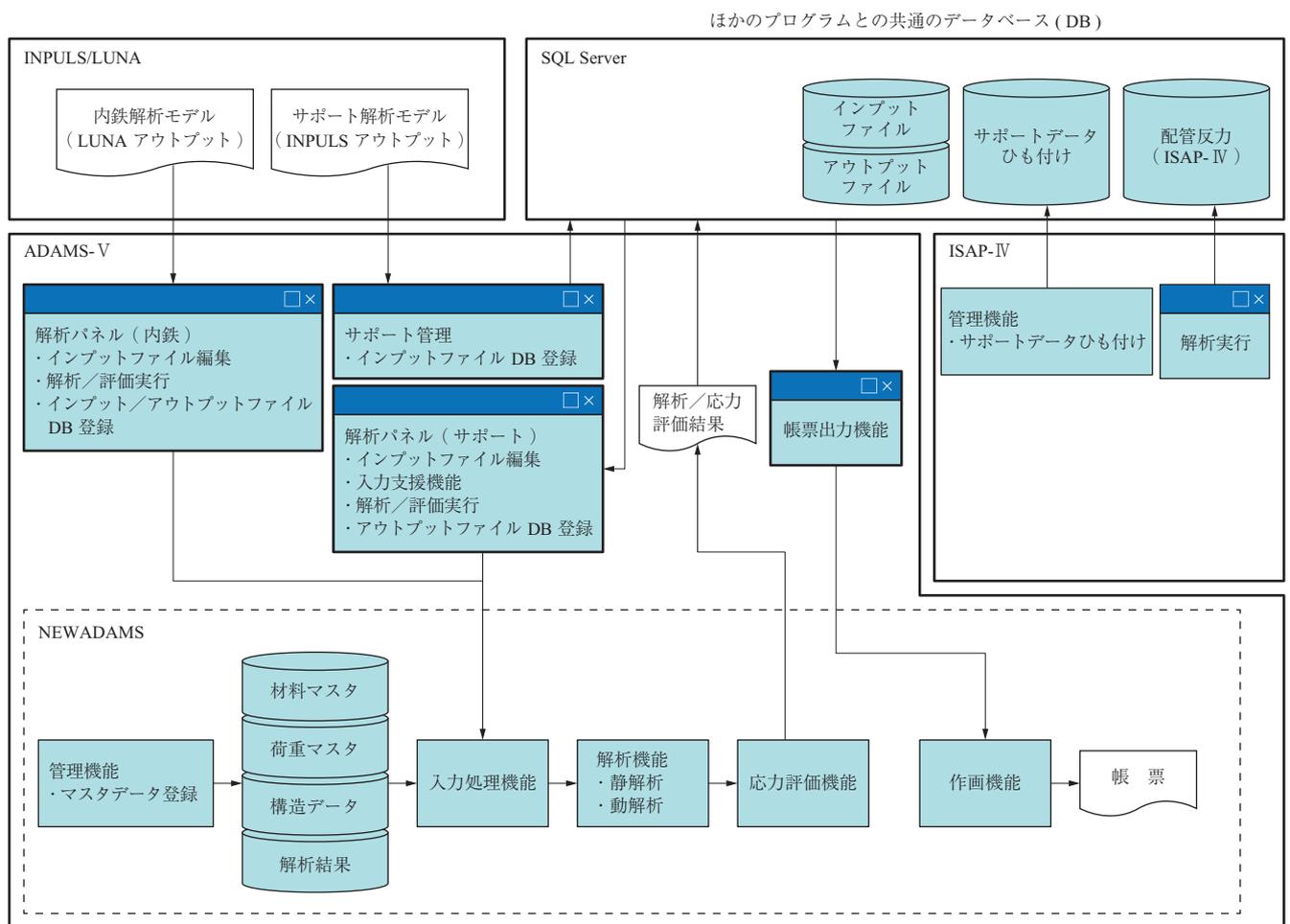
デルの3D表示および修正、評価結果の表示ができるシステムを構築した。

サポートでは、解析結果と連携し、部品評価・詳細評価が行える機能を追加した。部品評価・詳細評価としては、溶接部評価、局部評価、埋込金物評価、構造物の剛性評価や床応答スペクトル解析による応力評価を可能にするシステムを構築した。

- (3) ADAMSは従来より信頼性の高いシステムとして使用されてきたが、昨今の解析プログラムに対する品質要求に配慮し、市販の構造解析プログラムとの結果比較を実施し、システム検証の充実化を図った。

3. システム構成

ADAMS-Vのユーザインタフェースは、その前身であるNEWADAMSのシステムに対し、部品評価・詳細評価機能を強化したものである。第3図にADAMS-Vシ



(注) 太枠 : ADAMS-Vで新規追加・改良した機能
青枠 : GUIを全面的に導入した機能

第3図 ADAMS-Vシステム構成
 Fig. 3 System configuration of ADAMS-V

テム構成を示す。また、連携する LUNA (3D-CAD) (以下, LUNA), INPULS (3D-CAD) (以下, INPULS), ISAP とは共通データベース (以下, DB) としてデータを一元管理している。

以下に, ADAMS- V の中核を担う NEWADAMS のシステム構成, およびこれに周辺機能を拡充して発展させた ADAMS- V の開発部分を述べる。

3.1 NEWADAMS のシステム構成 (従来システムを踏襲した範囲)

(1) 管理機能

標準 (部品) データ, 構造データ, 解析結果データなど DB 内でデータを管理する機能をもつ。

(2) 入力処理機能

ユーザ入力データ (入力ファイル) を後続の機能が処理しやすいように編集し, DB に保存される。

(3) 解析機能 (ソルバ)

SAP- V をベースとした線形の構造解析を実行するプログラムで, 本システムの中心部分を成す。この解析結果は DB に保存される。

(4) 応力評価機能

構造物評価として設備の設計規準を満足するため, AIJ, JSME, JEAG の適用基準に従った部材の応力評価を行うことができる。

(5) 作画機能

構造情報の線画表示を行い, 構造や荷重 (負荷点と方向) などを確認しながらのデータ編集を可能とする。

また, 変形図や固有振動モードなど, 解析結果の表示が

可能である。

そのほか, 固有値解析と床応答スペクトル解析による応力評価や, サポートについては支持点の剛性評価が可能である。

3.2 ADAMS- V で追加または改良したシステム構成

NEWADAMS はワークステーション (以下, WS) 上で構築されたシステムであり, 使用は操作に慣れたユーザに限られた。

ADAMS- V では WS 上でのコマンドライン入力とテキスト操作を廃止し, 複数の個人端末上で GUI による直感的な操作を可能とした。

3.2.1 ユーザインタフェースの改良

第 4 図に解析モデルの 3D 表示を示す。ADAMS- V では従来の節点・要素・荷重などの情報表示に加えて, 構造情報のソリッド表示機能を追加することで (第 4 図 - (a)), 部材情報を視覚的に確認することが可能になり, 寸法情報ははじめとする数値のズレを, 編集段階で容易に発見できるようにした。

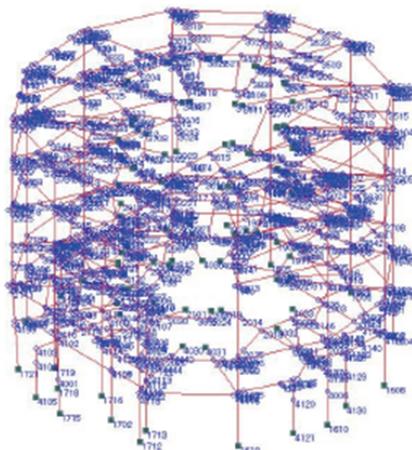
また, 画面上での部材長さや材料特性の変更, 節点の追加・削除と直接編集を可能にした。第 5 図に ADAMS- V 操作画面を示す。

3.2.2 解析パネル画面での操作集約

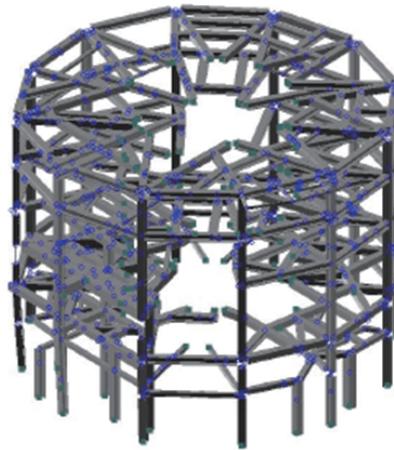
解析インプットデータは, 大型鋼構造物の場合は LUNA で, サポートの場合は INPULS によってそれぞれ構築された三次元 CAD データを ADAMS 用データに変換して作成する。ADAMS- V では, 必要に応じて解析パネル画面で以下を実施する。

- (1) 画面操作およびテキスト処理によるインプット

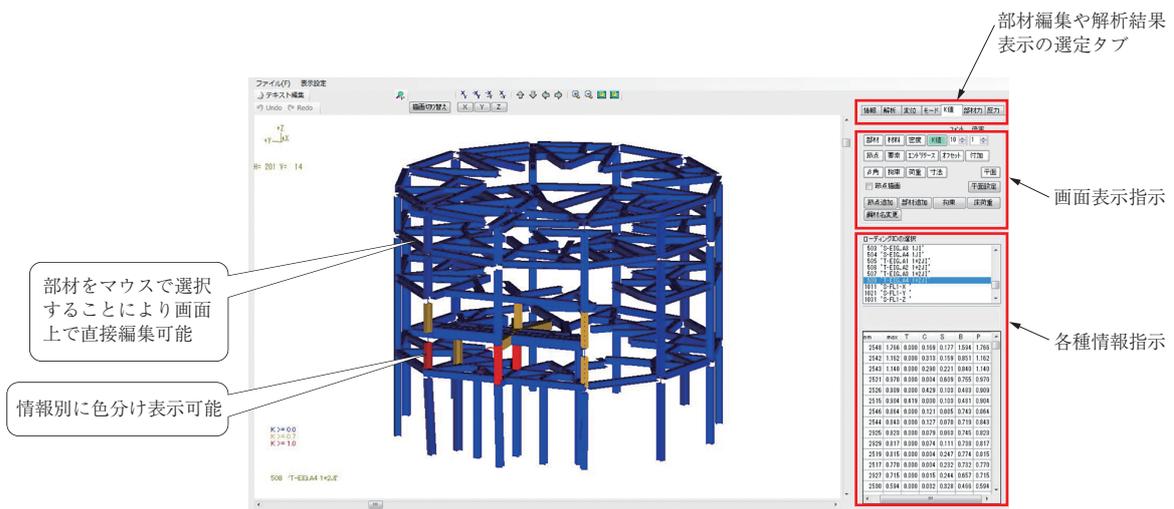
(a) 従来解析モデル表示



(b) ADAMS-V での解析モデル表示



第 4 図 解析モデルの 3D 表示
Fig. 4 Solid viewing of the analysis model



第 5 図 ADAMS- V 操作画面
Fig. 5 Operation screen for ADAMS-V

データの編集・解析実行

- (2) 解析結果の画面表示
- (3) 解析結果のファイル出力

ADAMS- V では、配管解析プログラム ISAP- IV との DB 連携が強化されており、配管モデル名の指定によってモデル内サポートすべての解析データを読み込むことが可能である。第 6 図に ADAMS- V 解析パネルを示す。

また、支持点情報から荷重情報を直接読み込み、それを利用することができるほか、評価項目についてもチェックのオン・オフによる選択が可能で、解析作業が大幅に効率化された。

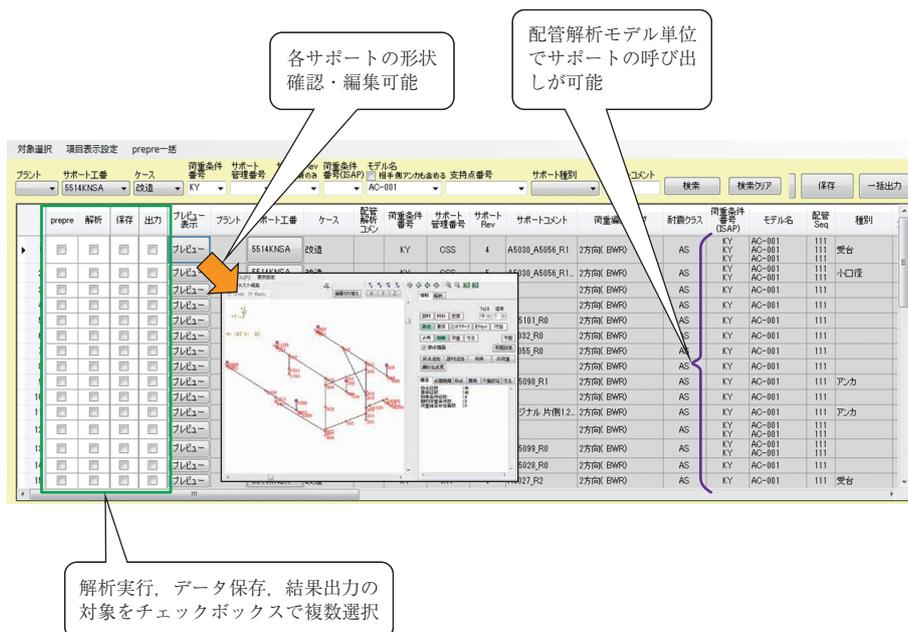
3.2.3 帳票出力機能

サポート評価結果について、定型フォームでの出力が容易に実施可能である。

3.2.4 データ管理

- (1) データ一元管理

構造物は一般的に多数存在することから、その管理には構造物 No. (3 桁の英数字) を用いて識別している。NEWADAMS 以前の環境では、解析を実行すると、構造物 No. ごとに入出力が保存される仕組みで、一つの構造物 No. に対し 1 件のデータしか保存できない状況であった。そのため同一の構造物



第 6 図 ADAMS- V 解析パネル
Fig. 6 Analysis panel of ADAMS-V

No. で繰り返し解析を実行すると、最後の解析データのみが保存される状況であった。また入力ファイルも、ユーザ管理としていたため、解析データの変更管理に注意を払う必要があった。そこで ADAMS- V では DB 管理を導入し、入出力とその変更および解析実行者を一元管理し、データの保全性を十分に確保した。

(2) DB 連携 – LUNA

大型鋼構造物の設計システムとして自社開発を行った LUNA との DB のリンクによって、LUNA で設計した構造物のデータを、DB を介して簡単に ADAMS- V 用入力データへコンバートすることができるようにし、解析モデル構築に要する時間の低減を達成した。

(3) DB 連携 – INPULS – ISAP

配管系設計システムとして自社開発を行った INPULS と連携し、INPULS で設計したサポート構造のデータを、DB を介して簡単に ADAMS- V 用入力データへと変換できるようにした。また NEWADAMS では、荷重 DB に登録した配管荷重を手動で取り出していたが、ADAMS- V においては ISAP- IV との DB リンクを設定することで、対応する配管モデルの DB 情報から、最新の配管反力情報が自動で入手されるようにした。これによって荷重登録漏れや、手入力による荷重取得ミスの可能性がなくなり、解析作業効率を向上させた。

4. 解析機能

4.1 解析機能概要

ADAMS- V で利用できる解析機能は次のとおりである。なお、これらの解析機能は前述の 3 章および第 3 図に示すように NEWADAMS を介して実行される。

4.1.1 静解析

- (1) 自重解析
- (2) 熱膨張荷重解析
- (3) 節点強制変位解析
- (4) 節点荷重による解析
- (5) 部材荷重による解析
- (6) 各荷重の組合せ
- (7) 床荷重

上記荷重条件による解析結果を組み合わせ、AIJ, JSME, JEAG などの各種評価基準に従った部材の応力評価を可能

にしている。

4.1.2 動解析

- (1) 固有値解析
- (2) モーダル床応答スペクトル解析
- (3) 上記動的解析と静的解析との組合せ評価

4.2 特長的な解析評価機能

ADAMS- V では解析評価の充実を図るため、次に掲げる機能を有している。

(1) 大型鋼構造物の解析・評価機能

解析モデルが 1 000 節点以上のような大型モデルについても、解析モデルの画面上での移動・回転などの表示速度が迅速となり、節点・部材の検索・変更などが容易となった。また、荷重条件などの表示も可能にした。複数の荷重条件と組合せによる評価結果の出力・応力比別表示の識別を画面上で簡単に行えるようにした。

(2) サポートの荷重全方位考慮

配管から付加される荷重に複数の方向性が考えられる場合は、正負双方の荷重を考慮することを可能にし、荷重点が複数存在する場合は、各々の正負の全組合せパターンを考慮した荷重条件を自動設定し、最も不利となる条件で評価を行えるようにした。

(3) サポート関連の解析評価機能

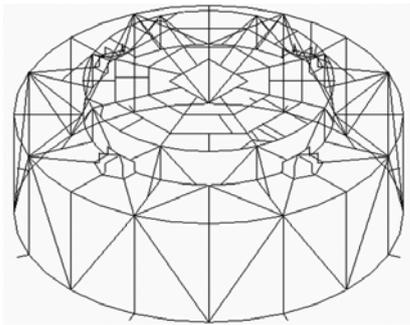
摩擦荷重を考慮した評価、局部座屈評価、定着部反力による金物評価、支持点の剛性評価、溶接部応力評価機能を追加した。

サポート評価に必要な各種標準テーブル（標準荷重、部材種類、断面性能、許容応力値テーブル、金物標準荷重など）をデータベースで管理することによって、自動評価を可能とした。

5. 今後予定している追加機能

ADAMS- V は、新規制基準適用に伴う国内解析技術の高度化・詳細化や海外プラント工事進出に対応するため、今後も以下に示す機能拡充を行う予定である。

- (1) 大型鋼構造物の構造解析において、複数のサポートからの荷重を ISAP との連携により自動入力する機能の開発
- (2) 構造物の反力と連携した後打ち埋込金物の評価機能の開発
- (3) 溶接評価機能の拡充
- (4) JEAC4601 に基づくサポートの弾塑性解析機能の



第 7 図 検証モデル
Fig. 7 Verification model

開発

- (5) 角型鋼管接続部の局所応力評価機能の開発
- (6) 金物評価機能の高機能化

6. システム検証

ADAMS- V のベースとなる NEWADAMS はすでに高い信頼性を得たシステムである。ADAMS- V への改良では、解析処理を行うソルバのロジック自体は変更を加えていないため、システムへの影響はないものと判断される。しかし、周辺機能の開発範囲が比較的広範囲であること、および昨今の解析プログラムに対する品質要求に配慮し、以下の検証も実施した。

ADAMS- V 以外の汎用構造解析プログラムである GTSTRUDL (Ver. 32) と NASTRAN (Ver. 2011. 1) の解析結果と比較することで ADAMS- V の結果に問題がないことを確認した。第 7 図に検証モデルを示す。図に示すモデルを用いて ADAMS- V と NASTRAN の固有値を比較した。第 1 表に固有値の比較結果を示す。表に示すとおり、両プログラムの差異は最大で 0.03% と良く一致しており、十分な解析精度をもっていることを確認した。

7. 結 言

ADAMS- V は、大型鋼構造物および配管支持構造物の構造解析プログラムとして実績のある NEWADAMS の信頼性はそのままに、NEWADAMS 以前はテキスト入力を主体としていた解析インプット作業を、画面表示を主体と

第 1 表 固有値比較結果

Table 1 Comparison of eigenvalues for ADAMS and NASTRAN

固有値	ADAMS- V	NASTRAN Ver. 2011. 1	相対誤差
次 数	(Hz)	(Hz)	(%)
1	13.80	13.81	0.03
2	15.37	15.37	0.03
3	15.94	15.95	0.03
4	15.95	15.96	0.03
5	16.13	16.14	0.03
6	16.30	16.31	0.03
最大誤差			0.03

する入力に切り替えた。また、構造物に複数の荷重が作用する際の複雑な評価や、サポートに関わる、① 摩擦荷重考慮 ② 局部座屈評価 ③ 金物評価 ④ 剛性評価 ⑤ 溶接部評価、などの設計評価項目の評価を可能にした。かつ、ISAP や LUNA と連携したことで従来に比べ飛躍的な作業の効率化を達成した。

また、インタフェース機能や設計評価機能の追加など、比較的大規模な改造になったことから、追加の検証作業を実施しシステムの信頼性を再確認した。

今後は、将来見込まれる海外の原子力プラントの大型鋼構造物やサポートの解析評価に備え、ASME NQA-1 への適用も視野に入れて開発を継続していく所存である。

参 考 文 献

- (1) 森井泰博, 工藤 孝, 河野憲一, 山田浩太郎: 原子力プラント鉄鋼構造物の設計システムの開発
石川島播磨技報 第 39 巻 第 5 号 1999 年 9 月
pp. 288 - 291
- (2) 諏訪 稔, 堀野知志, 真坂修三, 長崎正裕, 高島雄二, 菅原宏文: 原子力発電プラント用配管 3 次元 CAD システム: INPULS 石川島播磨技報 第 36 巻 第 5 号 1996 年 9 月 pp. 404 - 409
- (3) 配管総合構造解析プログラム: ISAP- III 石川島播磨技報 第 26 巻 第 1 号 1986 年 1 月 pp. 6 - 12