

# フレアフレームの設計について

## Designing Flare Frames

奈良 幹 夫\*  
Mikio NARA

### Summary

Miyaji Iron Works has recently been cooperating with Nippon National Air Oil Burner in the flare equipment design and manufacture business.

Flare equipment is installed in plants (such as oil refineries and chemical plants) to gather gases which are not needed for end products and burn or flare them.

Miyaji Iron Works is designing and manufacturing steel flare equipment structures, excepting measuring instruments, such as pressure gauges, and combustors. This paper outlines the method of designing flare equipment.

キーワード：フレア，煙突，架構，耐風設計，共振現象

### 1. はじめに

当社は近年、日本ナショナルエアオイルバーナー株式会社〔以下Ni-NAO社と略す〕と提携し、フレア設備（次章）の設計・製造を行っています。ここでは、フレア設備の設計方法の概要について紹介します。

### 2. フレア設備について

#### (1)フレア設備とは

プラント（石油、化学工場等）等において、非常時に流出したガスや精製等の過程で発生したガス等、製品に不必要なガスを集めて、燃焼もしくは拡散させるための設備である。

当社は、計装（圧力計などの計器類）や燃焼機器等を除く鋼構造物の設計・製造に携わっている。

#### (2)フレア設備の種類

一般的には、集まってくるガスの比重により、フレアシステムとベントシステムの大きく2つに分けられる。

##### 1) フレアシステム（ガスが空気より重い場合）

フレアシステムは、ガスの燃焼位置によって、フレアスタックとグランドフレアの2種類に分けられる。

##### (a)フレアスタック

煙突の先端でガスを燃焼させるタイプ。

煙突の径や高さは、ガス量および地上における輻射熱によって決定されるため、燃焼させるガスの種類や量により変化する。煙突の高さは、普通10m～150m程度であるが、炎による光公害等の問題が発生する場合もある。

形式の選定は、この高さや設置場所の広さ等により、決定されることが多い。また、スチームや空気を利用して、燃焼時に黒煙が発生しないようにしている。

##### (b)グランドフレア

煙突の下端でガスを燃焼させるタイプ。

フレアスタックにおける光公害をクリアーしたものであり、高さや径は燃焼能力によって決定される。高さは、通常5m～30m程度である。

地上付近でガスを燃焼させるため、熱や騒音を遮断するためのフェンスが必要となる。また、熱やガスによる影響を防ぐために、煙突の内側に通常セラミックファイバーでできた、ライニング（保護材）を貼る。

さらに、燃焼時に発生する振動（燃焼波）の問題をクリアーするため、煙突の下部に孔を明けている。

##### 2) ベントシステム（ガスが空気より軽い場合）

煙突の先端でガスを拡散させるタイプ。

煙突の高さは、ガスの着地濃度によって決定されるが、通常30m～40mの自立型が多い。

\*技術本部技術部技術課

### 3. 各形式の特徴

フレア設備を構造別に区別すると、次の4つに分けられる(写真-1~6参照)。

#### (1)自立式(写真-1, 2)

一般的な構造高は5m~50m。

煙突本体だけで自立している構造物。グラントフレアやベントスタックもこれに含まれる。

#### (2)ワイヤー式(写真-3)

一般的な構造高は30m~100m。

煙突本体もしくは煙突を支持する架構をワイヤー(スチワイヤー)にて、3方向から支持している構造物。そのため、広い敷地を必要とする。

#### (3)架構式(写真-4)

一般的な構造高は50m~140m。

鉄塔支持式とも言われ、煙突を架構(鉄塔、やぐら)で支持している構造物。架構の支柱材の傾きは約5°であるため、ワイヤー式のような広い敷地を必要としない。架構の支柱の配置は、平面で見ると正三角形もしくは長方形になっている。

#### (4)ローリング式(写真-5, 6)

一般的な構造高は100m以上。

架構式の一部であるが、ウィンチと滑車を利用することにより、架構に支持されたガイドレールに沿って煙突

が上下するため、地上から1番目のフランジ継手部の付近で煙突の組立や解体が可能な形式。

### 4. 適用設計基準について

フレア設備の設計に適用される基準は、アメリカ、イギリス、日本のものが多い(まれにオランダの基準もある)。

ただし、グラントフレア等自立式の設計には、日本の基準を適用することが多い。海外の工事で日本の基準を適用した場合は、それを全て英訳する必要がある。

フレア設備に適用される設計基準の名称および内容は下記の通りである。

#### (1)アメリカ

##### 1) 設計荷重

##### ①UBC

発行元: International Conference of Building Officials, 1991年

##### ②ANSI A58.1 (Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures)

発行元: ASCE, 1990年

UBC-Uniform Building Code

ANSI-American National Standard Institute, Inc.  
ASCE-American Society of Civil Engineers

##### 2) 応力照査

AISC (Steel Construction Manual, Allowable Stress Design)



写真-1



写真-2

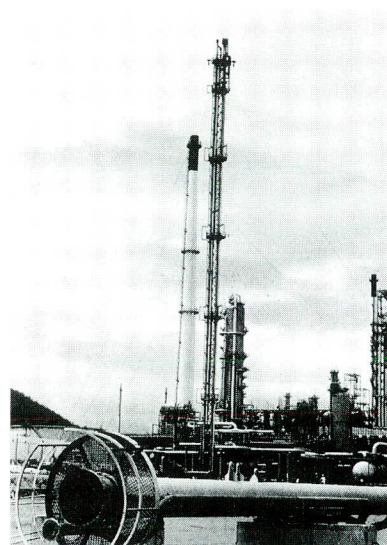


写真-3

発行元：AISC, 1989年  
AISC - American Institute of Steel Construction,  
Inc.

## (2)イギリス

### 1) 設計荷重

Code of Basic data for The Design of Buildings  
Chapter V. Loading

発行元：BSI, 1972年

BSI - British Standards Institution

### 2) 応力照査

①BS449 (The Use of Structural Steel in Building)

発行元：BSI, 1975年

②BS5950 (Structural Use of Steelworks in Building)

発行元：BSI, 1975年

応力照査には「BS449」と「BS5950」の2通りあり、

前者は「許容応力度法」後者は「塑性構造設計法」に基づいている。

## (3)日本

### 1) 設計荷重

①煙突構造設計施工指針

発行元：財団法人 日本建築センター, 1982年

②塔状鋼構造設計指針・同解説

発行元：社団法人 日本建築学会, 1980年

### 2) 応力照査

①塔状鋼構造設計指針・同解説

発行元：社団法人 日本建築学会, 1980年

②鋼管構造設計施工指針・同解説

発行元：社団法人 日本建築学会, 1990年

③鋼構造設計指針

発行元：社団法人 日本建築学会, 1970年

### 3) 基部設計

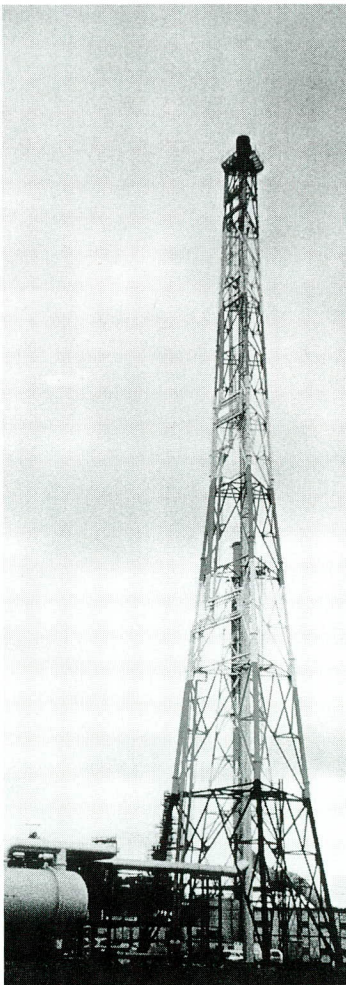


写真-4

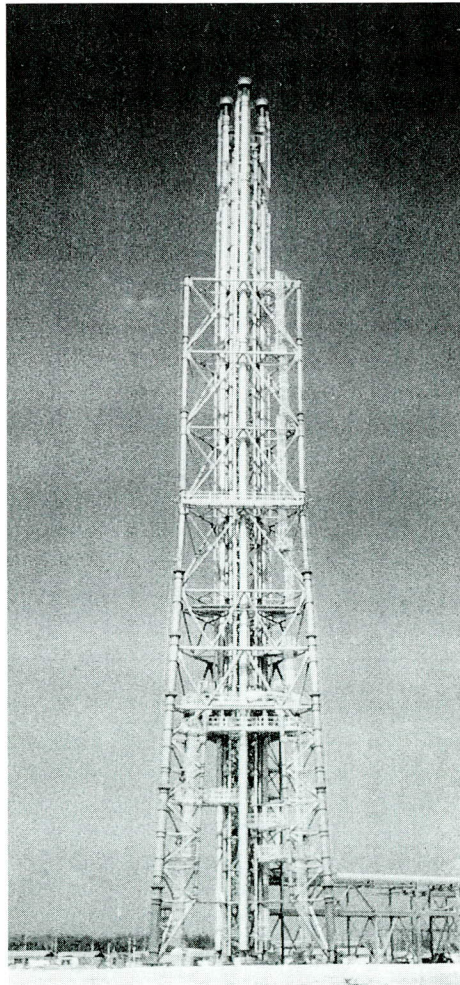


写真-5

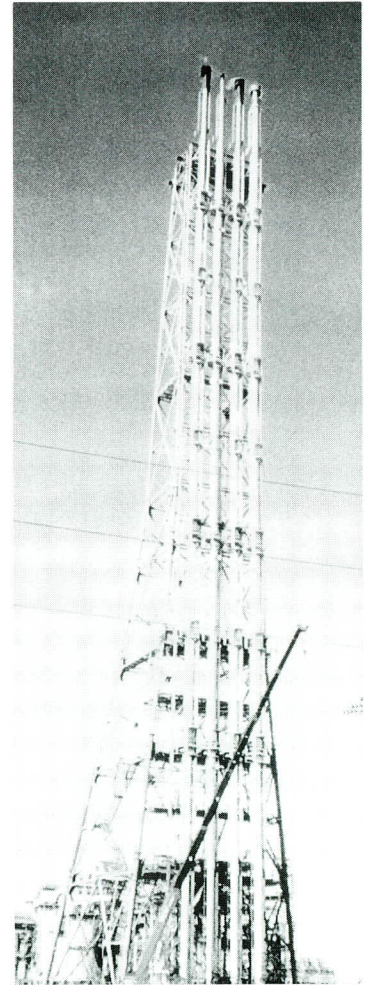


写真-6

煙突構造設計施工指針

発行元：財団法人 日本建築センター，1982年

#### (4)オランダ

イギリスの設計基準を元にした、シェル石油の設計基準である「DEP」を適用する。

DEP-Design and Engineering Prac-tice

##### 1) 設計荷重

DEP.34.00.01.30.-Gen., (Minimum Requireme-nt for Structural De-sign and Engineering), 1989年

##### 2) 応力照査

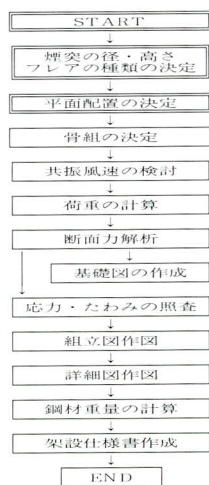
DEP.34.28.00.31.-Gen., (Steel Structure), 1989年

## 5. 設計

「BS5950」を適用した場合を除き、全て「許容応力度法」により設計する。

### (1)設計の流れ

当社で担当する構造物の設計の流れは、次の通りである（二重線枠はNi-NAO社が担当）。



### (2)設計分担

#### 1) Ni-NAO社の分担

- ・ 煙突の径，高さの設計
- ・ フレア設備の種類の検討
- ・ 架構の構造高の検討
- ・ 煙突，架構，付属物の平面配置の検討
- ・ その他、燃焼機器，圧力容器等の設計

#### 2) 当社の分担

- ・ 煙突（グラントフレア等も含む）の照査

- ・ 架構本体の骨組，使用部材の設計
- ・ 付属物の設計

### (3)設計荷重および荷重の組合せ

#### 1) 設計荷重

設計荷重は、下記の通りである。

- ①死荷重 (D)
  - ②活荷重（プラットフォームに作用する群集荷重）(L)
  - ③風荷重 (W)
  - ④地震荷重 (S)
  - ⑤煙突に入ってくるガスの温度による影響 (P)
- ただし、ワイヤー式については、上記の他に下記の影響についても検討する。
- ⑥煙突の伸びによる影響 (T)
  - ⑦ワイヤーの初期張力による影響 (I)

ここでは、①，②，⑦における説明を省略し③～⑥について説明する。

#### ③風荷重 (W)

受風面積 (A) は、風上側の投影面積のみを考慮し、風下側については無視している。その面積 (A) に各設計基準で計算された風速による圧力 (速度圧 (q)) を乗じ、煙突には分布荷重 (qA/L) (L: 高さ方向の長さ) を、架構には集中荷重 (qA/n) (n: 柱本数) を各柱の格点に載荷する。

#### ④地震荷重 (S)

橋梁における水平震度法と同じように、死荷重 (D) に係数 (0.1程度) を乗じた大きさの力を、重心に載荷する。

#### ⑤煙突に入ってくるガスの温度による影響 (P)

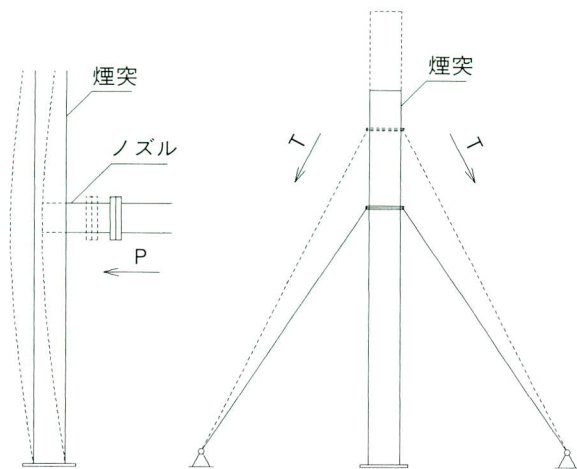
プラントが運転を開始し煙突にガスが入ってくると、そのガスの温度によってノズルに接合されるプラントからの配管が、図-1の点線のように架設時よりも伸びる（縮む）ため煙突に強制変位が生じる。それを荷重として考慮するのが (P) である。

#### ⑥煙突の伸びによる影響 (T)

プラントが運転を開始すると、煙突の温度が架設時よりも高くなり、煙突が図-2の点線のように伸びるためワイヤーも点線のようになり、ワイヤーのひずみが無視できなくなる。それを荷重として考慮するのが (T) である。

#### 2) 荷重の組合せ

荷重の組合せは普通下記の通りであるが、一般的には風荷重を考慮した③が最大になることが多い。



図一 荷重(P)について 図二 荷重(T)について

- ①D+L (+I)
- ②D+P (+T+I)
- ③D+W+P (+T+I)
- ④D+S+P (+T+I)

(4)解析モデルについて (図-3 参照)

- 1) 自立式の場合  
下端固定・上端自由の片持ち梁とする。
- 2) その他の場合

- ①煙突  
煙突の下端は固定端かピン固定とする。上下方向の拘束がないため、中間の支持位置は鉛直ローラ支点とした梁とする。
- ②架構 (煙突を支持する鉄塔)  
架構は支持条件を固定かピン固定としたトラス構造物として設計する。

(5)許容応力度

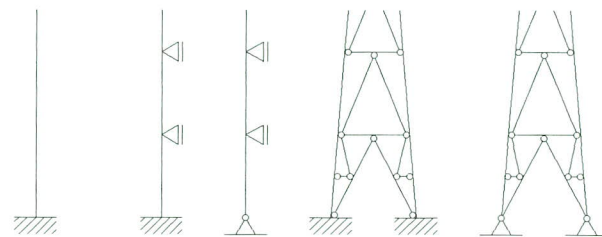
許容応力度は材料の降伏点と部材の細長比から計算されることが多い。そのため、日本の鋼材を使用した場合でも海外の基準による許容応力度の算出は可能であり、またその逆も可能である。  
「4. 適用設計基準について」で紹介した設計基準では以下のような方法で算出している。

- ①許容曲げ圧縮・引張応力度 (鋼管では圧縮、引張ともに同じ値になる)

$$F_b = \alpha F_y$$

$\alpha$  : 降伏点に対する係数 (各設計基準に従う)

$F_y$  : 降伏点



自立式 自立式以外の煙突 架構

図-3 解析モデル

②許容軸圧縮応力度

細長比と降伏点により算出している。

計算式については各設計基準を参考するものとし、ここでは割愛する。

③許容軸引張応力度

$$F_t = \beta F_y$$

$\beta$  : 降伏点に対する係数 (各設計基準に従う)

④許容せん断応力度

$$F_s = \gamma F_y$$

$\gamma$  : 降伏点に対する係数 (各設計基準に従う)

(6)許容応力度の割増し

短期荷重における常時に対する割増し係数は、以下の通りである。「BS5950」については別途検討するのが望ましいとされている。

- ①AISC 33+1/3%
- ②BS449 25%  
(風荷重を考慮した場合のみ)
- ③鋼構造設計指針 50%
- ④DEP.34.28.00.31.-Gen., 15%

(7)応力照査

- 1) 煙突および架構

どの設計基準を用いても、基本的には次式のように「軸力と曲げ」が作用する部材として照査している。

$$(f_c/N_c) + (f_b/F_b) \leq 1$$

$f_c$  : 軸圧縮力による作用応力度

$N_c$  : 同 許容応力度

$f_b$  : 曲げモーメントによる作用応力度

$F_b$  : 同 許容応力度

ただし、煙突断面の径厚比 (D/t) がおおむね100以上の場合、次の②で照査する。また、部材毎の共振

風速 (V) が  $V \geq 15\text{m/s}$  になることを確認する。

## 2) グランドフレア本体

『塔状鋼構造設計指針・同解説』の「径厚比の大きい円筒部材」として設計することが多い。照査は「軸力と曲げ」および「せん断力」の2通りについて行うが、内容については同書を参考するものとして、ここでは割愛する。

また、中空の薄肉断面であるため、風により断面が変形し円形でなくなる現象が生じる。1つはカルマン渦による振動で、もう1つは円周に沿って変化する分布を示す風圧力による静的な変形である。それらに対する検討は、上記指針の「塔体の断面変形に対する配慮」の項に従い、カルマン渦による強制振動と風圧力による静的応力について検討する。

自立式においては高さと外径の比が20以下であれば、強制振動の検討は省略できるとされている。

## 3) 基部

『煙突構造設計施工指針』の「脚部の設計」により、ベースプレートおよびアンカーボルトについて照査する。

ベースプレートは3辺固定・1端自由の板でも、2辺固定の梁としても良いが、普通は後者にて照査している。

## 4) たわみ

構造物本体のたわみだけでなく、プラットホーム等のたわみについても照査する。一般的に、本体は1/200以下、プラットホーム等は1/400以下程度となっている。

## 6. 当社が提携した工事

当社がNi-NAO社と提携した（現在進行中も含めて）実施工事は、以下の通りである。また、各工事の全体組立図（一般構造図）を、**図-4**～**7**に示す。

### ① (6314) GOP PROJECT (**図-4**)

向先 : インドネシア  
形式 : ガイワイヤー式  
構造高 : 60.000m  
鋼材重量 : 35.8t (当社分32.2t)  
適用基準 : 設計荷重 UBC  
応力照査 AISC  
煙突構造設計施工指針

### ② (6317) SHENZHEN LPG (**図-5**)

向先 : 中国  
形式 : 自立式 (グランドフレア)  
構造高 : 21.980m  
鋼材重量 : 29.3t (当社分23.1t)  
適用基準 : 設計荷重 煙突構造設計施工指針  
応力照査 鋼構造設計基準  
塔状鋼構造設計指針・同解説  
煙突構造設計施工指針

### ③ (7302) SOKU GAS (**図-6**)

向先 : ナイジェリア  
形式 : 架構式  
構造高 : 65.000m  
鋼材重量 : 約210t (当社分約200t)  
適用基準 : 設計荷重 DEP.34.00.01.30.-Gen.,  
応力照査 DEP.34.28.00.31.-Gen.,  
BS5950  
煙突構造設計施工指針

### ④ (7310) TITAN NO.2 CRACKER PROJECT (**図-7**)

向先 : マレーシア  
形式 : ガイワイヤー式  
構造高 : 90.000m  
鋼材重量 : 約37t (当社分約33t)  
適用基準 :  
設計荷重 客先仕様書  
応力照査 鋼構造設計基準  
塔状鋼構造設計指針・同解説  
煙突構造設計施工指針

## 7. 設計成果品について

設計成果品は、下記の通りである。①～④および⑥は客先に提出し、⑤は輸送時の資料とすることが多い。

①基礎図（ローディングデータともよばれる基部の詳細と反力についての図面）(**図-8**参照)

②設計計算書

③組立図（一般構造図）

④詳細図（テンプレートも含む）

⑤重量計算書

⑥架設仕様書

## 8. おわりに

最後に、エンジニアリングコーディネーターの金子氏

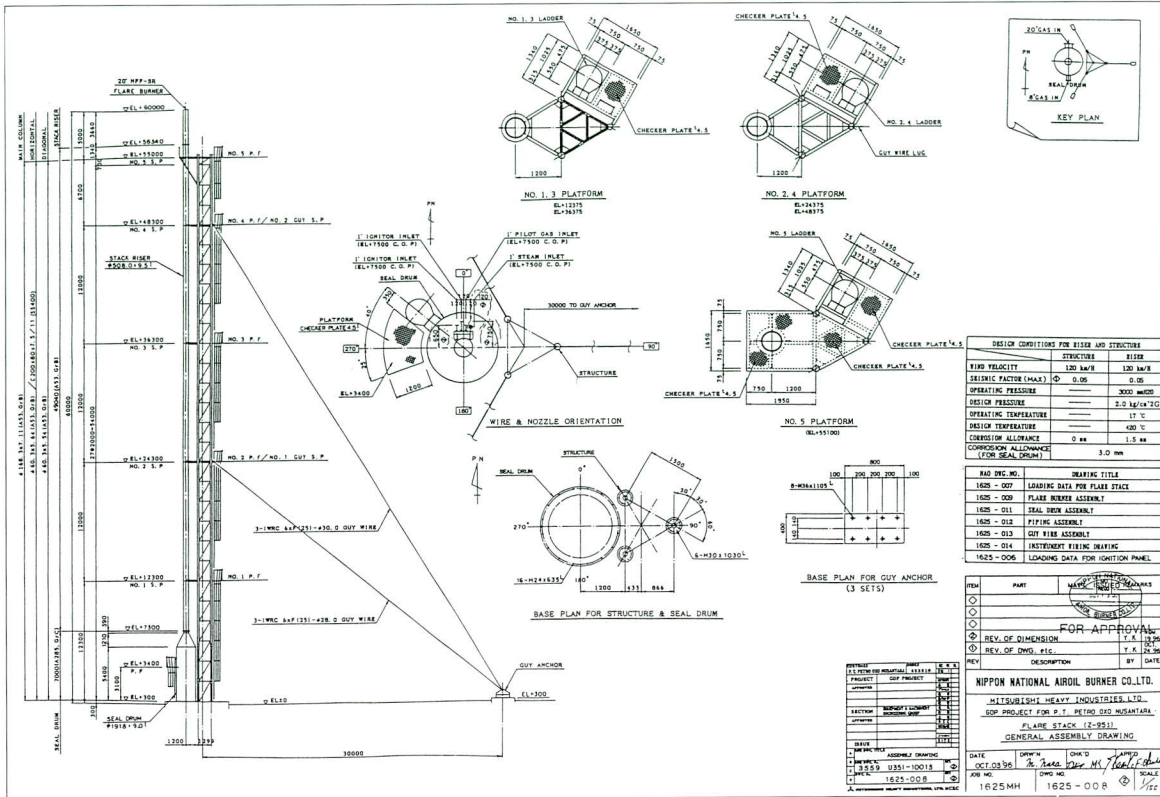


图 4 GOP PROJECT

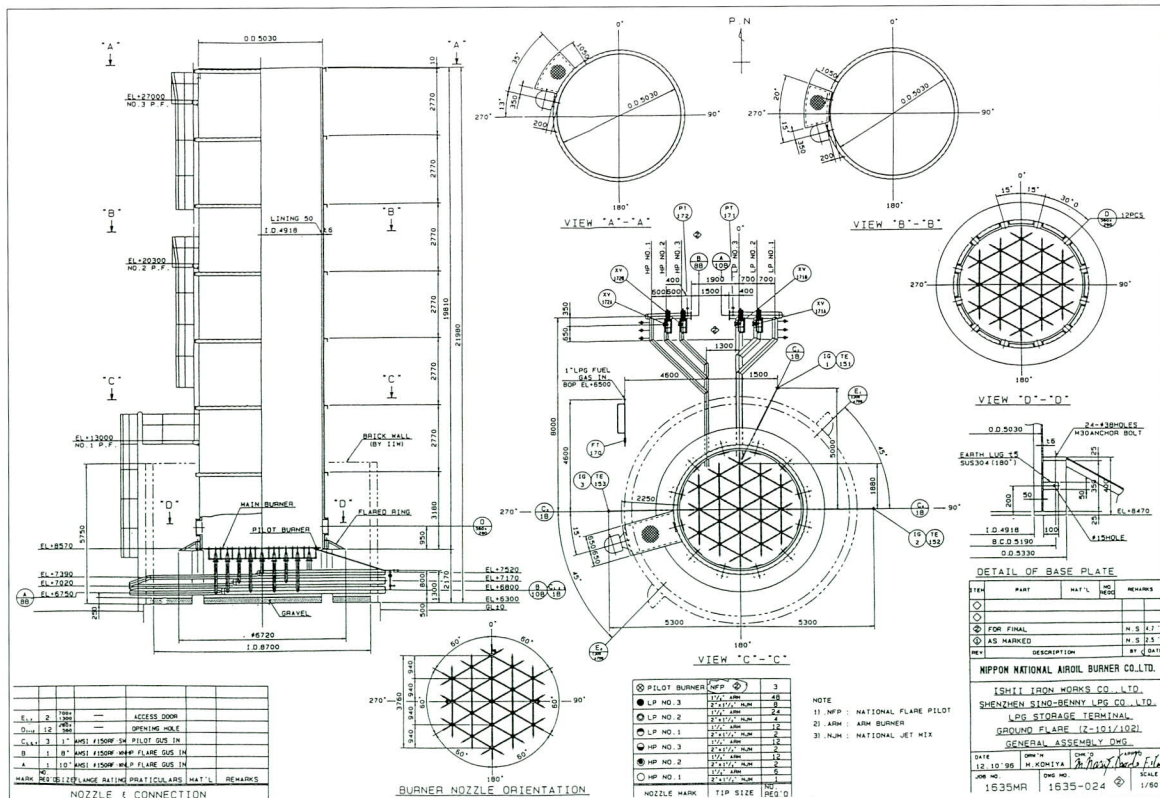


图 5 SHENZHEN LPG

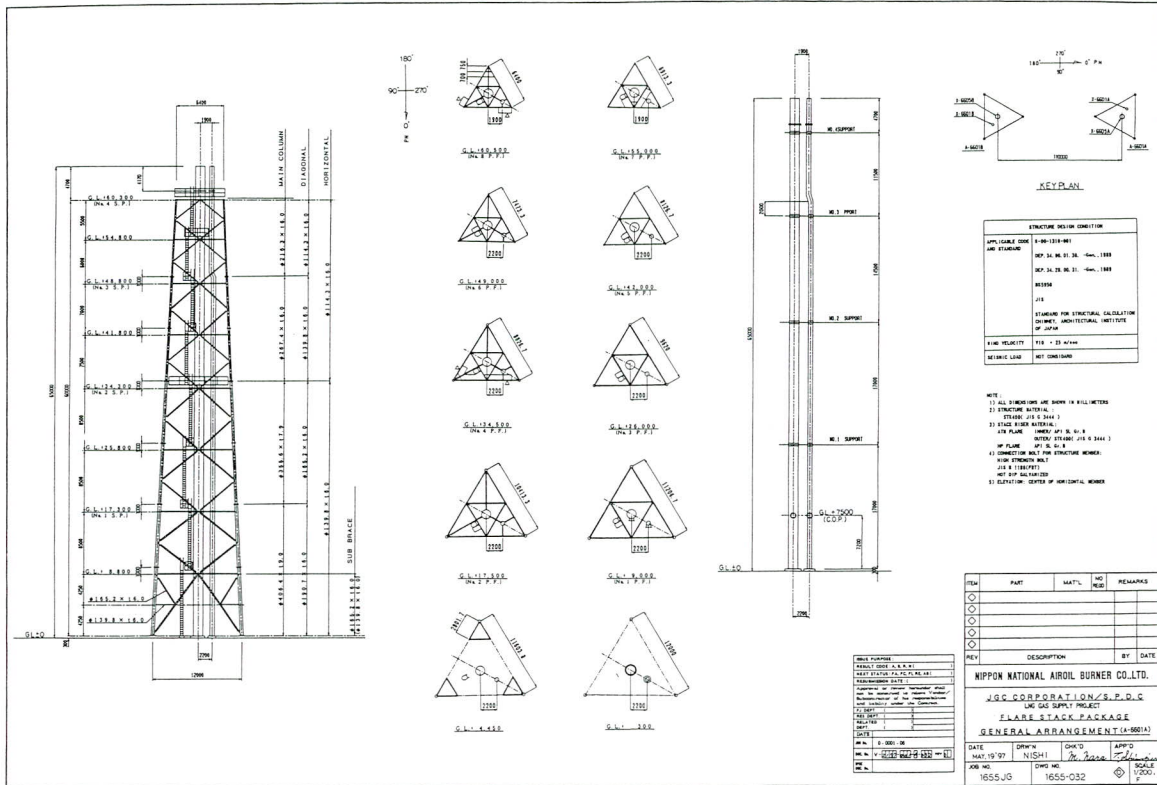


図-6 SOKU GAS

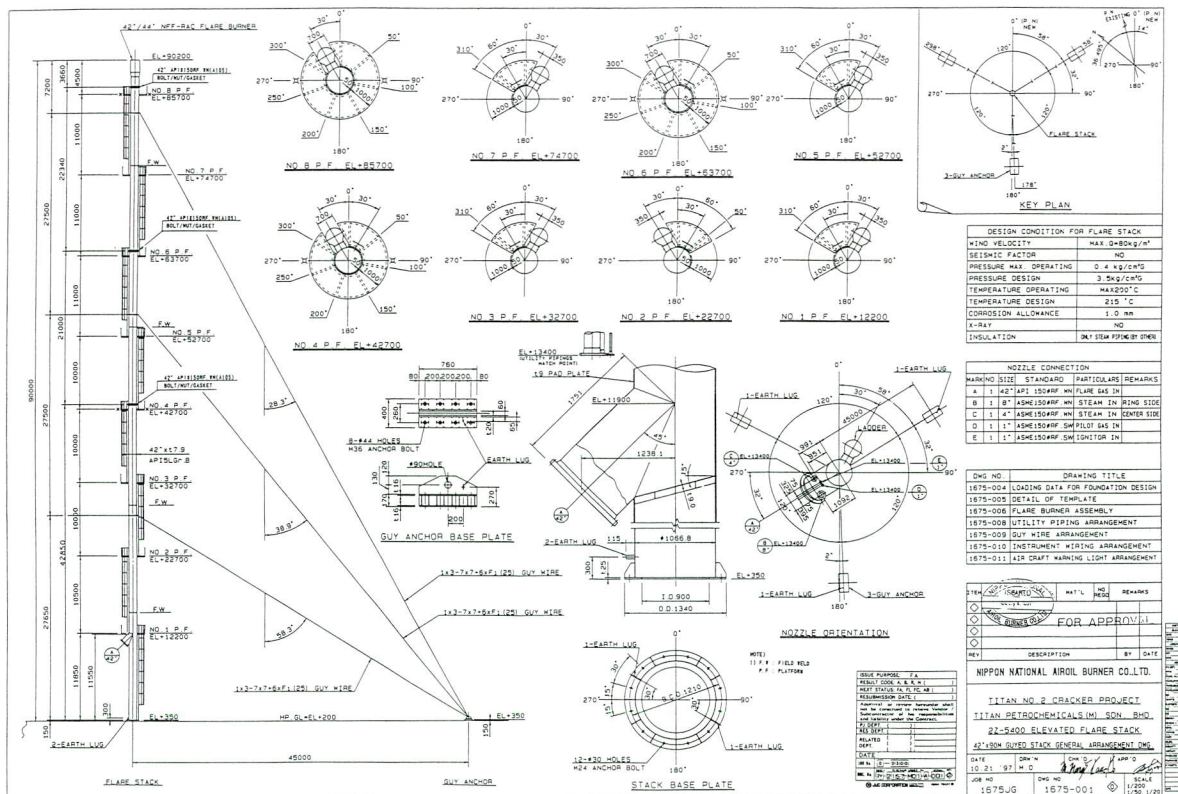


図-7 TITAN No.2 CRACKER PROJECT



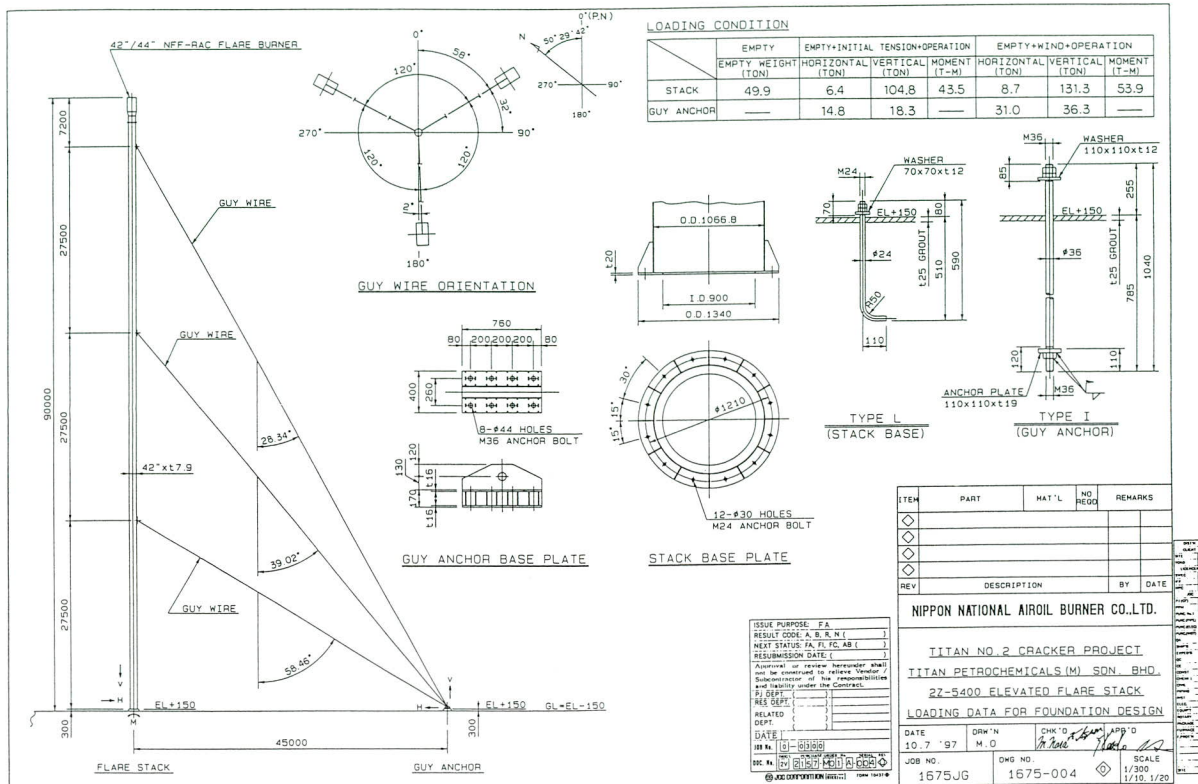


図-8 基礎図の例 (TITAN No.2 CRACKER PROJECT)

を始め、日本ナショナルエアオイルバーナー(株)の皆様にはさまざまな御協力を頂いております。誌上を借りまして厚く御礼申し上げます。

フレアの業務はそのほとんどが海外の物件です。その

ため、図面・仕様書から客先およびNi-NAO社との打合わせ記録に至るまで、全て英語で作成していることを付け加えておきます。

1997.10.31 受付

グラビア写真説明

新長野大橋 (五輪大橋)

新長野大橋は、長野市の道路交通分散を目的とする「東外環状線」に位置しています。長野市は、千曲川及び犀川によって東西・南北に分断されており中心市街地への道路が著しく混雑しています。とりわけ渡河部に交通が集中するため交通上のネックになっています。新長野大橋の開通によって長野市街地への交通が緩和されるとともに、周辺地域との交通が活性化しています。この新長野大橋は、早期完成をはかるため前後取り付け道路を含め1.4kmが有料道路となっております。また橋梁部は将来的には4車線ですが、現在は暫定2車線で供用しています。また長野オリンピック及びパラリンピックの各会場を結ぶ重要な輸送ルートとしても大きく貢献するものと思われまます。橋名は、一般公募の結果「五輪大橋」と決まり、オリンピックの記憶とともに市民の記憶に残ることと思ひます。

印象的だったのは、開通間近のイベントで、架橋地点付近に住むおばあちゃんが、「こんな立派な橋ができるなんて、長生きしてよかった」と往復2.6kmの新長野大橋スタンプラリー達成記念の通行記念の通行手形を手に誇らしげに話してくれたことでした。

(粕谷)