CPD行事から

2014年6月25日開催，金属部会定例会講演から

原子力発電所の再稼働に向けた対策と技術士のモチベーション

Countermeasure and Motivation of Professional Engineer for Operating NPP Again

講演者 亀山 雅司
Kameyama Masashi

東日本大震災の後，シビアアクシデントや，設計基準が追加，強化された新規制基準が定められ，発電所再稼動に向けた適合性審査が継続されている（2014年11月現在）。適合には，大量の一般構造用圧延鋼材（SS400）を対象とした強度の再評価や強化が発生しており，効果とリソース（時間，人）を勘案して評価方法を決める視点などが重要になっている。また，審査の長期化の下，自身のストレスによる鬱の経験を踏まえ，技術士のモチベーションを持ち易い気持ちを積極的に活用し，心の視点から技術を支える試みを行った。

After the Great East Japan Earthquake, we have been doing effort to conformity for the power plant operation under new regulatory standards that had revised design criteria and had added severe accident. There are a large amount of rolled steels for general structure (SS400) that should be re-evaluated and enhancements, and it is important that we consider effect and resources (time, people) and others. In addition, against prolonged negotiation, I have tried to support technology based on my experience of depression due to stress, using motivational mind of Professional Engineer.

キーワード：モチベーション，新規制基準，強度の再評価，高ニッケル基合金，技術課題の解決

1 長期化する審査

1.1 新規制基準

東日本大震災の後，原子力発電設備の安全性向上が大きな課題となった。国は設計基準を中心とした規制基準に新たな基準を追加，強化した新規制基準（実用発電用原子炉及び核燃料施設等に係る新規制基準）を2013年7月に施行した。新規制基準では従来の設計基準に加えて，テロ対策（意図的な航空機衝突への対応），シビアアクシデント（以下SA）対策（放射性物質の拡散抑制対策，格納容器破損防止対策，炉心損傷防止対策）が新設された（図1）。なお，SA対策は設計事象を超えて炉心損傷等が発生した場合の対策であり，従来は事業者の自主的な対策と位置付けられていたものが規制基準として内容の充実化とあわせて整備されたものである。

また，設計基準の内容もSAの発生を防止するために幾つかの項目が追加，強化されている。具体的には，内部溢水に対する考慮を追加，自然災

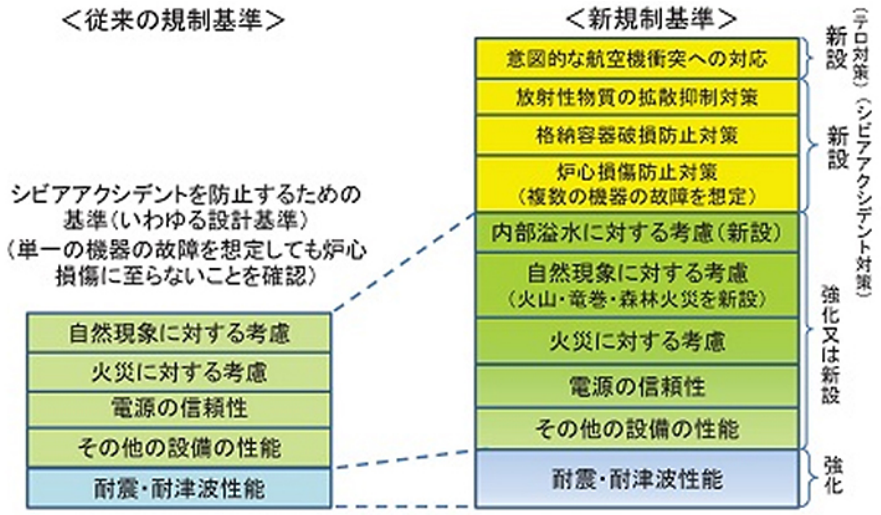

図1 従来規制基準と新規制基準[1)]

害に対する考慮を追加（火山，竜巻，森林火災を新設）し，火災に対する考慮，電源の信頼性，その他の設備の性能，耐震・津波性能が強化されている。

1.2　再稼働に向けた手続きと道のり

原子力発電設備は設置許可申請と呼ばれる安全審査が終了した後，具体的な設備設計を行う工事認可申請へ進む。工事認可申請に沿って工事が終了した後は申請どおりに工事が行われたことを確認する使用前検査が行われる。

また，原子力発電所の運用を定めた保安規定認可がある。この他にも燃料体検査や溶接安全管理審査がある。法に定められたものではないが，地元了解も重要な事項である。

2014年9月10日に事業者で初めて九州電力の川内原子力発電所がパブリックコメントを経て設置許可の認可を受けた。今後は工事認可申請をはじめとする手続きを進めていくことになる。

（手続きは法的には別の捉え方もあるが，実態の手順に沿った内容を記載した）

1.3　新規制基準の検討内容の特徴

新規制基準に基づいて行われている技術検討に関して，これまでにない特徴を幾つかあげたい。

まず，対策がこれまでよりリアルになった。例えば「電源喪失に備えて予備の電源を用意する」では，予備の電源を用意しただけでは十分ではなく，誰がいつ，どこのどのような環境で何を使用しながらどのようにして機能を発揮するのか，を考えて実際に使用する場面にリアルに繋がらなくてはならない。

SAの状態になると設計範囲を超えているため，設計上は動くはずの装置が動かない，弁の開閉ができないなど，事態の進行状況は様々に分化し，検討ケースが大幅に増えていく。例えるなら，弾性範囲で設計していた機器を弾塑性解析まで許容するとイタレーション（前の計算結果が次の計算に影響を及ぼすため，何度も再計算する）が発生し，許容状態の検討や計算量が爆発的に増えるのに似ている。

また，対策同士の干渉を考えなくてはいけない。例えば，火災が発生した際に無暗に水をかけると機器の水没が発生し，消火の対象ではない設備の健全性を損なうなど，新たな問題を引き起こす可能性がある（溢水の問題の発生）。それら相反する事象についても，両者とも問題ない範囲に収まるよう保証しなくてはならない。

1.4　金属に求められる対策（震災前）

震災前は想定した評価条件による安全対策であり，劣化した状態を設計状態または設計状態と同等の性能に復帰させる補修技術が注目されていた。

例えば，国内外で顕在化していた原子炉容器の高ニッケル基合金（Alloy600）の応力腐食割れ（以下，SCC）の3要素（材料，応力，環境）の対策が盛んに行われていた（図2）。

具体的には，冷却材（水）と接している表面の

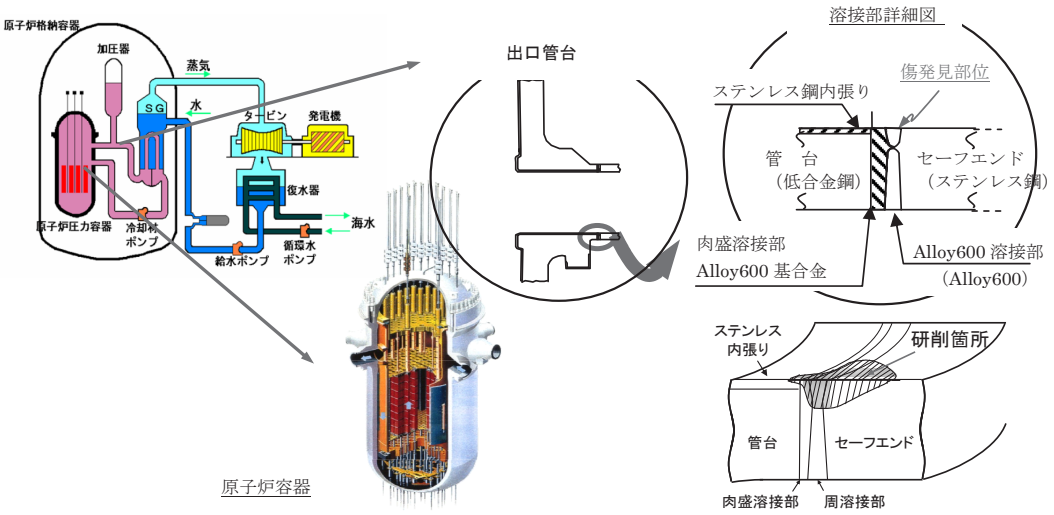

図2　高ニッケル基合金のSCCと対策[2)]

引張応力を圧縮応力に変えてSCCを防止する対策（ピーニング）や，Alloy600に比べてCrの含有量がほぼ2倍（約30％）で高耐食性のAlloy690による溶接補修である。なお，Alloy600，Alloy690はオーステナイト単層の合金であり，溶接時に割れなどの欠陥を起こしやすい。また，溶接欠陥を手直しすると高い残留応力が残り，数十年単位でSCC等新たな不具合のリスクを高める可能性もある（ただし，現在の知見では残留応力が高くても材料対策がされていればSCCは発生しない）。何らかの対策を講じる場合は，基準を達成すればそれでよしとせず，未知の知見に対して影響を受けにくい構造を工夫することや，限界値を超えても急速に破壊事象が進まないタフな設計とすることが望ましい。

また，原子炉容器やその周囲は放射線量が高いため，被ばくの防止や遠隔操作が必要になるなど様々な施工上の制約が付随する。これらの事情全てを勘案して現地施工を行う必要がある。特に原子炉容器は取替えのきかない重要設備であり，失敗は許されない。これらは重圧と捉えることもできるが，技術士の視点で見れば，やりがいのある内容が多いと捉えることもできる。

1.5　金属に求められる対策（震災後）

震災後はSA対策で設備の追加，強化が行われている。例えば，基準地震動の引き上げに伴い，配管，容器，機器の本体や支持構造物の評価，強化が行われている。対象は主に一般構造用圧延鋼材（SS400）であり，Alloy600，690に比べて材料や溶接技術に特段の新規性はない。

一方でこれらは数量の多さや補強材の追加を既存の設計，配置の範囲で工夫するといった難しさがある。建設時の設計は，短期間で大量の製造を行うために許容値に対して定性的に高い余裕を持った一律仕様で，いわばオーバースペックで製造されるものが多い（仕様を製品毎に細かく変更するよりコスト的にも有利になる）。強度の再評価や強化の過程では，そうした余裕を詳細な評価で明確にすることも可能であるが，効果とリソース（時間，人）を勘案して評価方法等を決める視点が重要になる。

2　技術士のモチベーション

2.1　長期化する審査の下で

私は技術士になる以前にストレスによる鬱で十分な技術力を発揮できなくなった自身の経験を踏まえ，長期化する審査の下，心の視点から技術を支える試みを行った。

2.2　技術士の感情のリンク（感情の関連付け）

技術士の喜びややりがいの感じ方には少し特徴がある。例えば，発表を指名されて嬉しいかどうか，一般のエンジニアにお尋ねすると，嬉しいと感じる割合は1割以下，技術士にお尋ねすると5割以上いる（金属部会CPD行事。2014年6月25日など）。

何を嬉しいと感じるかは人によって異なるのが当然だと考える人は多い。しかし，私はここに技術士の新たな可能性が隠されていると考えている。

2.3　シンプルで強力な影響

人には感情と理性がある。私たちは子供の頃から理性で感情をコントロールするよう教えられている。しかし，感情は理性より古い脳に起因しており，理性より強く，理性に押さえつけられても消滅しない。この原理に逆らうとストレスが発生する。

例えば，嫌だと感じている仕事を「嫌だと思ってもやらなければならない」と我慢しても，感情は「仕方がない」という理性の都合に屈することがない。

では，感情の赴くままに嫌な仕事はしないのかといえばそれでは社会生活が送れない。そこで，感情と理性を調和させ，モチベーションをインストールすることが重要になる。

2.4　技術士のモチベーションの資質

感情は，その影響力は絶大だが一方で頭があまりよくなく，自分のためになることでも嫌なことだと感じてしまう。そこで，理性が感情に丁寧に「好きな理由」を教えてあげることが必要になる。

技術士が時に困難な専門分野を好きなのには理由がある。多くが過去に，学校や職場で賞賛された，充実感を味わった，ミッションを感じたなどの体験を持っており，それらが困難な技術課題を感情の「好き」に強くリンクしている。机上で理解するのが難しい「感情のリンク」はそれを体験した者ならではの資質といえる。そして，リンクを意識することで自分や他の人の感情に「好き」のリンクの仕方を教えてあげることができる。技術士はそういうアドバンテージも持っていると私は考えている[3)]。

2.5　技術課題の解決

具体的なインストールの手順は心理カウンセリングの手順と同様，気持ちへの共感と思考のナビゲーションによる心の課題の解決の手順である。そして，「思考」を「技術」に置き換えることで，技術の課題についても適用できる手順になる（図3）。

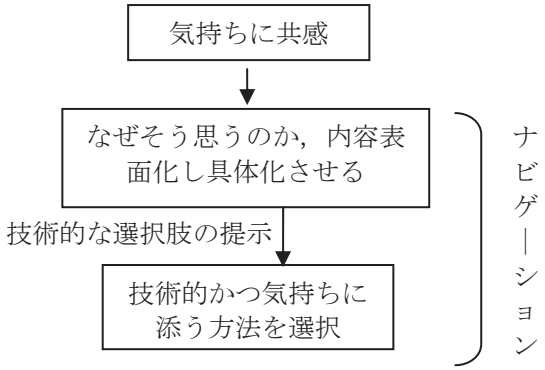

図3　技術課題の解決[4) 5)]

なお，気持ちに寄り添う技術課題の解決方法は，既に内在している技術力を活用するため，心身の負担が少なく，解決までの時間が短いという利点がある。今回，新規制基準のうち内部溢水の蒸気漏えい影響の適合のための大飯発電所3，4号機の防護カバーは，当手法により約2週間で基本設計が決定し，その後，滞りなく現地設計と工事，基準適合の審査を終了した（図4）。

3　おわりに

震災後の原子力発電所の新規制基準では，火山，竜巻等SA対策の追加や耐震・耐津波性能などの強化に対し，発電所の再稼働に向けた設備の

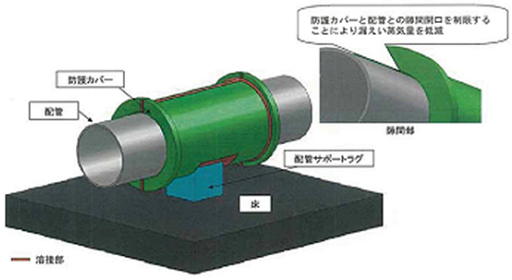

図4　防護カバーの概要[6)]

再評価や強化工事などの努力が続けられている。

また，長期化する審査の下，私は，かつて規制基準の適合の業務の強いストレスで鬱に陥り技術力が発揮できなくなった経験から，心の視点から技術力を支える試みを行った。結果として，技術士のモチベーションを持ち易い気持ちを積極的に活用し，前向きに仕事に取り組むと共に，技術課題の解決手順に，気持ちに対するのと同じ手順を適用することで，新規制基準用の技術開発の一つをスムーズに終えることができた。

私は心の視点から技術を支える試みに，技術士の新たな可能性があると考えている。

＜引用文献＞

1）原子力発電用原子炉及び核燃料施設等に係る新規制基準について－概要－，p.9，原子力規制委員会ホームページ「新規制基準について」，2014年10月現在
2）亀山雅司：溶接工学実践編 原子力（設計編），溶接学会誌第83巻第4号，pp.36-40，溶接学会，2014年6月
3）亀山雅司：モチベーション・インストール，保全学，Vol.13，No.3，pp.63-64，保全学会，2014年10月
4）亀山雅司：心に寄り添う技術の選択，保全学，Vol.11，No.3，pp.61-62，保全学会，2012年10月
5）技術士のラポール広場，http://engineer-pro.org/
6）原子力規制庁：平成25年12月24日大飯発電所審査会合資料

亀山　雅司（かめやま　まさし）
技術士（原子力・放射線部門）

原子力安全推進協会
部会幹事
工学博士，心理カウンセラー
e-mail：kameyama.masashi@genanshin.jp