

伝熱関連業務のアクティビティー

秋吉 亮*

Akiyoshi Ryo

伝熱技術は、各種工業製品において、性能やコストはもちろんのこと、品質、安全、環境などの面でも必要な技術である。本稿では著者らの伝熱関連のアクティビティーを紹介する。

キーワード: 熱工学、伝熱、温度、性能、品質、安全、環境、対流、沸騰、凝縮、熱放射、熱伝導、熱物性、熱伝達率、熱交換器、熱通過率、熱貫流率

1. 製品と伝熱の関わり

製品の設計・製造に当たって、性能やコストに伝熱が直接関わる場合には、必要に応じて伝熱の教科書、技術者、研究開発者の力を借りることになる。しかし性能やコストに関わらない場合には、伝熱の技術に拠るべき点があったとしても見出しにくく、あるいはそのようなことにコストと時間をかけにくいものである。

本稿では、性能、コスト、品質、安全、環境などの様々な観点から、伝熱に関連する例をいくつか挙げ、当部のアクティビティーの紹介とする。

2. 温度予測

製品の設計においては、次のような検討が必要となる。

- ・性能
- ・寸法、重量（小型化、薄肉化など）
- ・コスト
- ・強度
- ・腐食

- ・安全（触れても火傷しないかなど）
- ・環境（放熱ロスなど）

類似製品や類似の設計があれば、それらを利用して設計することも可能であるが、これらが利用できない新製品の場合、あるいは精度を高めたい場合は、伝熱技術を使って、温度や熱的な仕様を予測する必要がある。

これらを精度良く予測するには、機器全体をモデル化する必要がある場合が多いが、設計の実務としては、最高温度、最低温度を予測できればよいことが多い。要求仕様を定める場合や、強度や腐食が問題になるかどうかを調べる場合などがこれに相当する。例えば発熱機器を水で冷やす場合、発熱部温度を決めている諸項目の関係を図1に示す。つまり 冷却水の温度上昇は、発熱量と流量から算出し、発熱部と冷却水との温度差は、発熱量、および発熱部から冷却水までの熱抵抗から算出する。

ここで言う熱抵抗とは熱の流れにくさを意味し、機器の材質、形状・寸法、および冷却水の流量や物性値などによって異なるが、当グループで

* 研究開発事業部 プラント技術部 燃焼伝熱グループ 部長 工学博士

は、各パラメータの影響の大きさをあらかじめ推定し、必要な精度に応じた適切な算出方法を選択できる。これより発熱部の温度を推算できるほか、発熱部を許容温度以下に抑えるために必要な冷却水流量、あるいは形状や寸法を定めることができる。

必要な精度で算出できない場合は、誤差の程度を見積もることができ、あるいは試験確認、さらには数値計算を実施し、精度を高めることも可能である。

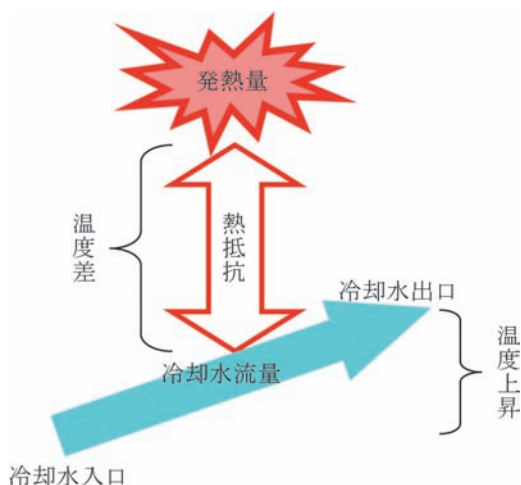


図1 最高温度の算出の例

3. 伝熱の腐食対策への適用例

例えば排ガスを空気で冷却する、あるいは空気を排ガスの熱で加熱する場合は、「製品は性能が良く小型の方が良い」という常識に従えば、排ガスがよく冷えるように設計することになる。しかし亜硫酸ガスを含む排ガスなどが、約 150℃ (SO₃ 濃度により異なる) とされるいわゆる酸露点温度まで低下すると、ガス中の酸化成分が結露し、いわゆる低温腐食が生じる。このようなことが起こるかどうかは、図2のように、冷却空気入口部で排ガス温度が酸露点以下に低下するかどうかで決まる。

当グループでは、排ガスと空気の流れの条件(温

度、圧力、流量) と物性値から、排ガス側と冷却空気側と熱抵抗、および排ガスの温度低下を算出し、最低温度を予測することができる。排ガスの温度低下は、冷却器として使う熱交換器の構造や寸法に大きく依存するが、代表的な熱交換器の構造であるシェル・アンド・チューブの他、プレート型、プレートフィン型などのコンパクト型熱交換器においても、Aspen ONE などの設計計算コードを利用し、温度低下を算出することができる。

排ガスが酸露点以下まで低下する場合には、排ガス側、あるいは冷却空気側 (あるいはその両方) の熱抵抗を大きくする、つまり熱が伝わりにくくする必要がある。しかし冷却器全体の熱の伝わりを悪くすることは、冷却器の大型化、さらには製造価格の上昇につながるため、冷却空気入口部のみについて、熱の伝わりを抑えればよい。具体的には伝熱管表面の流れをよどませ熱伝達率を低下させる、あるいは管内に熱伝導率が低い物質を挿入する方法がある。

高温腐食の場合も、同様の考え方で、最も高温になる箇所の温度を抑えることになる。これらの対策は、最低温度部や最高温度部だけに施せばよく、価格上昇は比較的小さいことが多い。

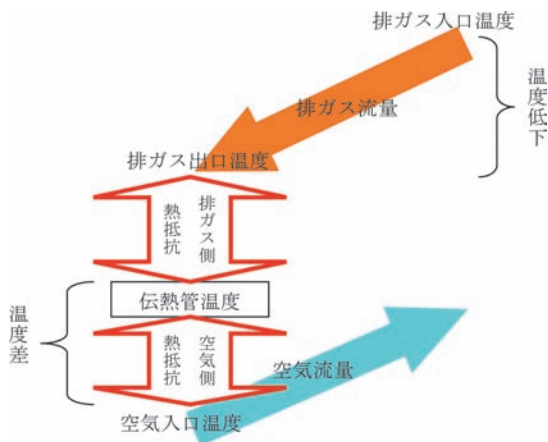


図2 排ガス冷却器内の排ガス最低温度算出の例

4. 断熱の例

高温や低温の機器や配管には断熱を施し、触れても火傷をしないように、また放熱・吸熱によるエネルギーのロスを抑え環境への負荷を低減する必要がある。

触れても大丈夫かどうか、は表面温度で決まる。当グループでは、**図3**に示す断熱材内部、および外気の熱抵抗を推算し、表面温度を予測することができる。表面温度を下げるには、さらには放熱を抑制するには、熱抵抗が大きい断熱材が好ましい。空気などの気体は熱伝導率が小さく、つまり熱抵抗が大きくなるため、空隙率が大きい断熱材がよく使われる。

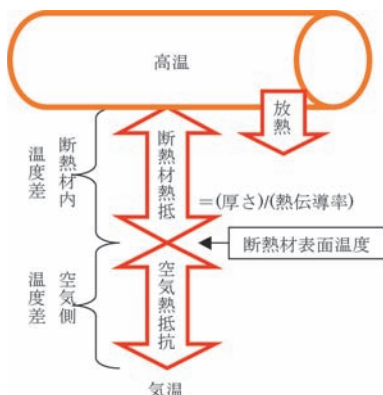


図3 断熱材の表面温度の予測例

当グループでは、断熱性能を高めるためのノウハウを多く保有している。例えば空気側の熱抵抗を大きくするには、断熱材表面に放射率が小さいテープや布を巻き付け、熱放射を抑えることがある程度有効である。また常温より低温の場合、断熱材の内部で空気中の水蒸気が凝縮・凍結すると、断熱材内部の水や氷によって熱が伝わりやすくなり、断熱性能が劣化してしまう。これを避けるためには、断熱材の内部に空気が出入りしないよう、気泡が独立した断熱材、あるいは表面を密封した断熱材を使用する。

当グループは、宇宙用の断熱材の取り扱いにも実績がある。真空下では対流熱伝達が排除され熱放射のみとなるため、積層することによって熱放射を抑えた多層断熱材が使われるが、これを大気圧下で使用するときの断熱性能について、著者らが設計製作した試験装置と試験の様相を**図4**に示す。外面の加熱を促進するために加熱ガスの流速を上げて熱伝達率を高め、液体窒素で冷却した断熱材内面との温度差、および液体窒素の蒸発量から、断熱性能を評価した。

5. 温度計測技術の紹介

最後に、当グループが関わった、最近の温度計

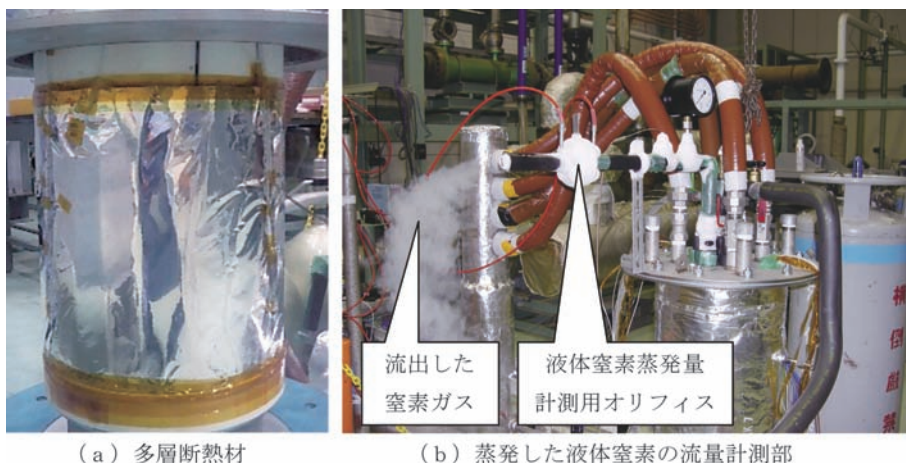


図4 多層断熱材の大気圧下での断熱性能試験

表 1 各種のシース熱電対の比較

	シース径	計測対象への影響*1	応答特性*2	絶縁性*3	ばらつき*4	使いやすさ*5	耐電気ノイズ	全体評価
非接地型	太	△	△	○	◎	◎	○	○
	細	○	○	○	◎	○	○	○
接地型	太	△	○	○	△	◎	△	△
	細	○	○	○	△	○	△	△
先端露出型	◎	◎	△	○	△	△	△	△

- * 1: シースの熱容量が大きいと、シース熱電対を計測対象に接触させることによる計測対象の温度変化が大きい
- * 2: シースの熱容量によって、時間遅れが生じる
- * 3: シース先端の密封が不十分だと、シース内に封入されている酸化マグネシウムが吸湿して絶縁性が悪化し、温接点以外の温度の影響を受けやすくなる
- * 4: 温接点とシースとを接触させる溶接がばらつきやすい
- * 5: 太い方が、耐熱性と強度に優れる

測について紹介する。

温度を計測する方法としては、熱電対や測温抵抗体などのセンサを計測対象に接触させる方法と、赤外線を利用する非接触の方法とがある。

接触式の代表例である熱電対は、シース熱電対として使われることが多く、その先端部の形状によって、温接点がシースと接していない非接地型、接している接地型、および温接点がシースから露出している先端露出型があるが、それらの比較を表 1 に示す。

最近ではφ 1.0mm、φ 0.5mm、φ 0.25mmなどの細いシース熱電対の製造技術が進んでおり、従来の非接地型の欠点を補うことができる。

温度の絶対値ではなく温度差を計測するには、図 5 に示す差動熱電対が採用できる。温度センサ自体に固有の誤差があり、またその補正にはあ

る程度のコストと時間を要する。特に 0℃ 以下の低温や数百℃ 以上の高温では、較正自体が容易ではない。このような温度領域で、特に 1K 以下の小さい温度差を計測する場合、差動熱電対は大変有効である。2 本の熱電対を同じロットで製作し、また十分な精度で較正し、さらにその温度における起電力の差から温度差を評価することによって、0.01K のオーダーの温度差を計測することができる。

赤外線を利用した非接触式温度センサの技術が進んでおり、当グループも実績を積んでいる。図 6 は、空冷凝縮器の温度分布を赤外線サーモグラフィで撮影したものである。直交流のコンパクト型で相変化が起こるといふ最も複雑な熱交換器の一つであるが、凝縮域が一目瞭然であり、その性能評価に有効であった。

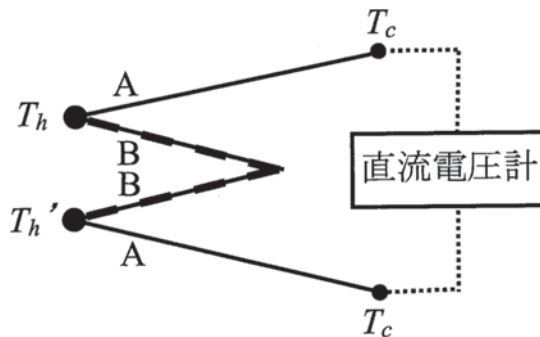


図 5 差動熱電対

なお赤外線サーモグラフィーが受ける赤外線には、対象とする固体表面の熱放射に加え、外部からの赤外線の反射が含まれてしまい、誤差となる。金属などの反射しやすい面は、この影響が特に大きい。例えば計測対象が常温の場合は、撮影者からの赤外線さえ影響する。

このため日光や高温の照明などが直接当たる面は、極力、暗幕などで遮るのが好ましい。計測対象が比較的低温の場合、あるいは反射しやすい場合も、暗幕を利用した方がよく、また黒体塗料を塗布すると反射を抑えることができる。

6. 謝辞

本稿に記載した宇宙用断熱材の大気圧下における断熱性能試験は、JAXA 殿、および IHI エアロスペース殿の委託により実施したもので、試験条件のご指導、装置設計と試験結果のレビューなどをいただき、厚く感謝いたします。

参考文献

- 1) 日本機械学会編、伝熱工学資料改訂第5版 (2009.5) .

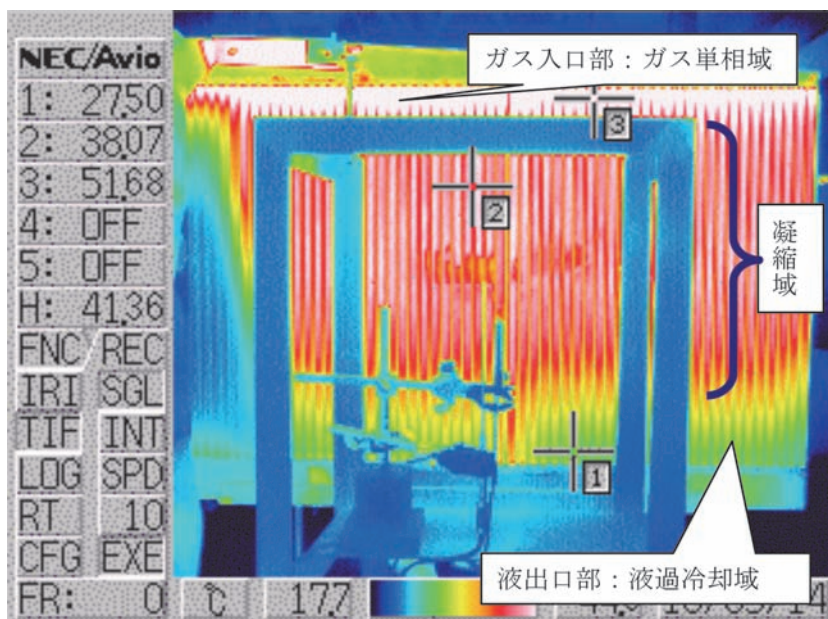


図6 凝縮器の温度分布計測



研究開発事業部
 プラント技術部
 燃焼伝熱グループ 部長
 工学博士
 秋吉 亮
 TEL. 045-759-2122
 FAX. 045-759-2119